

表 1 项目基本情况

建设项目名称		榆林市第一医院肿瘤诊疗中心核技术利用改造项目				
建设单位		榆林市第一医院				
法人代表		冯丙东	联系人	周晔	联系电话	18992275557
注册地址		陕西省榆林市高新区榆溪大道 93 号				
项目建设地点		榆林市高新区榆溪大道 93 号榆林市第一医院院内				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)		4600	项目环保投资 (万元)	141	投资比例(环保投资/总投资)	3.07%
项目性质		☐ 新建 ☒ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其它			占地面积 (m ²)	800
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类			
		☒ 使用	☐ I 类(医疗使用) ☐ II 类 ☒ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类			
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物			
		☐ 销售	/			
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙			
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类			
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类			
		☒ 使用	☒ II 类 ☒ III 类			
	其他	/				

项目概述

1.1 医院概况

榆林市第一医院暨延安大学第二附属医院、西安交通大学医学部非直属附属医院、陕西中医药大学教学医院，前身为 1951 年创建于宝鸡的陕西省第二康复医院；1970 年为支援陕北老区建设，整体迁址绥德；1989 年通过国家教委验收，成为延安大学第二附属医院；1995 年通过卫生部验收，成为陕北地区第一所三级甲等综合医院；2010 年、2015 年两度顺利通过等级医院复审；2016 年建成西安交通大学医学部非直属附属医院、陕西中医药大学教学医院。

榆林市第一医院现由绥德、榆林两院区组成，推行“一院两区”协调发展战略，实行文化、资源、体制、目标的四统一管理。目前两院区总占地面积 172.51 亩，拥有业务建筑面积 17.9 万 m²，固定资产 18 亿元，编制床位 2500 张，开放病床 2000 张；现有在职职工 2292 人，其中专业技术人员 1980 人（副高以上 289 人，博士 5 人，硕士 207 人）；配备 PET-CT、三光子直线加速器、回旋加速器、3.0/1.5T 核磁共振、ECT、256 排螺旋 CT、全数字血管造影系统、彩色多普勒超声诊断仪、全自动生化分析流水线等各类业务设备；设置临床、医技科室 102 个，附设国家级住院

医师规范化培训基地、国家胸痛中心、陕西省危重孕产妇救治转运中心、榆林市体检中心、榆林市远程会诊中心、榆林市突发公共事件应急救治中心及肿瘤、腔镜、神经内外科、检验等 13 个市级诊疗中心，拥有全市首家医疗专家工作站与全市唯一的医学专业在职硕士、博士研究生教学基地，初步建成涵盖 8 所县级医院、95 所社区医院的区域医疗联合体，已成为陕晋宁蒙接壤区域设置诊疗科目齐全、设备先进、技术力量雄厚的现代化综合医院。

1.2 核技术应用的目的是任务的由来

为进一步提高临床诊疗效果，完善医院的诊疗体系，更好的服务于患者，榆林市第一医院拟对榆林院区肿瘤诊疗中心负一层、负二层进行改造，在负一层建设一间后装机房、一间 CT 扫描间、控制室、诊室、物理室以及其他辅助用房等，将现有负二层的后装机搬迁至负一层，将负二层后装机房改造成直线加速器机房。新购一台 10MV 直线加速器（属于 II 类射线装置）、搬迁一台后装机（使用 1 枚 ^{192}Ir 密封放射源，活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，属于 III 类放射源）、新购一台大孔径 CT（属于 III 类射线装置）。

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的有关规定，根据《射线装置分类办法》本次环评涉及的射线装置和密封放射源的种类和范围属于 II 类射线装置、III 类射线装置、III 类放射源；根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（国家环保部第 44 号令）（2018 年修订）本项目为“五十、核与辐射—191、核技术利用建设项目—使用 II 类射线装置、II 类和 III 类放射源”的核技术应用项目，应编制环境影响报告表。

2020 年 4 月，榆林市第一医院正式委托西安桐梓环保科技有限公司对本次项目进行环境影响评价（委托书见附件 1）。我公司在接受委托后，随即组织有关技术人员进行现场踏勘并收集相关资料，在对基础资料的分析和现状的调研，依据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016），编制了《榆林市第一医院肿瘤诊疗中心核技术利用改造项目环境影响报告表》。

1.3 核技术利用现状

1.3.1 医院现有核技术利用项目环保手续履行情况

榆林市第一医院包括绥德院区和榆林院区两个院区，该医院两个院区的核技术

利用项目环保手续履行情况见下表 1-1。

表 1-1 榆林市第一医院核技术利用项目环保手续履行情况一览表

院区名称	环保手续履行情况
榆林市第一医院 (绥德院区)	2006 年 6 月对绥德院区 1 台钴-60 治疗机(使用 1 枚活度为 $1.85 \times 10^{14} \text{Bq}$ 钴-60 源)、放免室(使用非密封放射源碘-125)、核医学科(使用非密封放射源碘-131)及 1 台 CT、5 台普通 X 光机进行了环境影响评价,建成后并进行了竣工环保验收,申领了辐射安全许可证(陕环辐证[60001],许可内容:使用 I 类放射源,使用 III 类射线装置,乙级非密封放射性物质工作场所、丙级非密封放射性物质工作场所)。
	2010 年 5 月对钴-60 放射源进行退役,并送往陕西省放射性废物库进行衰变处理。
	2018 年 12 月 10 日对现有 11 台 III 类射线装置(1 台 64 排 CT、3 台 DR、1 台全景颌面机、1 台牙片机、2 台 C 型臂、1 台碎石机、1 台 16 排 CT、1 台胃肠机)进行了备案,备案号:201861082600000080。
	2019 年 4 月进行了核医学科迁建、新增 DSA 核技术利用项目环境影响评价,将核医学科迁建于同院区医技楼 5 楼西北侧,使用 ^{131}I 进行核医学检查和治疗(非密封放射性乙级工作场所);在综合住院楼 3 层西南角建设 1 间 DSA 机房,配备 1 台 DSA(II 类射线装置)。于 2019 年 6 月 12 日取得陕西省生态环境厅的批复(陕环批复[2019]221 号)。正在办竣工环保验收手续。
	2020 年 1 月 19 日对现有 2 台 III 类射线装置(1 台 C 型臂、1 台移动 DR)进行了备案,备案号:202061082600000012。
榆林市第一医院 (榆林院区)	2009 年 10 月对榆林院区 1 台后装机(使用 1 枚活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ 的 ^{192}Ir 源)、1 台直线加速器、1 台血管造影机、6 台 III 类射线装置、使用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I (均为乙级非密封源工作场所)进行了环境影响评价,于 2009 年 11 月 30 日取得原陕西省环保厅的批复(陕环批复[2009]668 号)。2011 年 8 月及 2012 年 8 月进行了竣工环境保护验收监测,于 2013 年 3 月 21 日取得原陕西省环保厅的竣工环保验收批复(陕环批复[2013]144 号)。
	2010 年取得了原陕西省环保厅颁发的重新申领后的辐射安全许可证。许可证号:陕环辐证[60001],许可范围:使用 I 类、III 类放射源,使用 II 类、III 类射线装置,使用乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。许可证有效期至 2015 年 06 月 22 日。
	2014 年 9 月对新增回旋加速器及 PET-CT 核技术应用项目进行环境影响评价,于 2014 年 10 月 30 日取得原陕西省环保厅的批复(陕环批复[2014]605 号)。2016 年 1 月对该项目进行了竣工环境保护验收监测,并于 2016 年 4 月 29 日取得原陕西省环保厅的竣工环保验收批复(陕环批复[2016]231 号)。同时对辐射安全许可证进行了变更。
	2016 年对新增的平板探测器血管造影仪及 III 类射线装置进行了环境影响评价并取得批复(陕环批复[2016]131 号),于 2018 年 4 月 14 日通过了自主竣工环保验收组验收,并对辐射安全许可证进行了变更。
	2017 年对新增的 III 类射线装置填报了登记表,备案号 201761080200000062。同时对辐射安全许可证进行了变更。
	2019 年 5 月进行了核医学科扩建项目环境影响评价,对核医学科工作场所进行改造,改造、新增非密封核素 $^{99\text{m}}\text{Mo}$ (钼钨发生器)、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{89}Sr 、 ^{125}I (放免及粒籽源)等医学应用(非密封放射性乙级工作场所);新增 ^{90}Sr 敷贴治疗(V 类放射源)。于 2019 年 7 月 4 日取得陕西

	省生态环境厅的批复（陕环批复[2019]259号）。正在办竣工环保验收手续。
	2020年1月20日对现有4台Ⅲ类射线装置（1台数字胃肠机、1台车载DR、2台移动C型臂）进行了备案，备案号：202061080200000027。
	于2020年3月23日取得了陕西省生态环境厅颁发的重新申领后的辐射安全许可证。许可证号：陕环辐证[60001]，许可范围：使用Ⅲ类、Ⅴ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；生产、使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。许可证有效期至2025年03月04日。

1.3.2 辐射安全许可证

榆林市第一医院现行《辐射安全许可证》（见附件2）许可的内容具体见表1-2。

表 1-2 陕环辐证[60001]核准的种类和范围

（一）放射源						
序号	放射源名称		放射源种类	活度（贝可）×枚数		活动种类
1	Sr-90		V类	$1.48 \times 10^9 \text{Bq} \times 1$		使用
2	Ir-192		III类	$3.7 \times 10^{11} \text{Bq} \times 1$		使用
3	Ge-68		V类	$3.5 \times 10^6 \text{Bq} \times 1$		使用
4	Ge-68		V类	$1.85 \times 10^7 \text{Bq} \times 1$		使用
（二）非密封放射性物质						
序号	工作场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量	年最大用量	活动种类
1	榆林院区核医学科淋洗室	乙级	Tc-99m	$3.7 \times 10^7 \text{Bq}$	$8.88 \times 10^{11} \text{Bq}$	生产，使用
2	榆林院区核医学科注射室	乙级	Sr-89	$3.7 \times 10^6 \text{Bq}$	$1.11 \times 10^{11} \text{Bq}$	使用
3	榆林院区核医学科敷贴室	乙级	P-32	$2.22 \times 10^8 \text{Bq}$	$6.66 \times 10^{11} \text{Bq}$	使用
4	榆林院区合成热室	乙级	O-15	$6.15 \times 10^5 \text{Bq}$	$7.4 \times 10^7 \text{Bq}$	生产，使用
5	榆林院区合成热室	乙级	N-13	$1.85 \times 10^8 \text{Bq}$	$5.55 \times 10^{10} \text{Bq}$	生产，使用
6	榆林院区核医学科淋洗室	乙级	Mo-99	$3.7 \times 10^6 \text{Bq}$	$8.88 \times 10^{11} \text{Bq}$	使用
7	绥德院区核医学科碘源库、服药室	乙级	I-131	$7.4 \times 10^7 \text{Bq}$	$3.11 \times 10^{10} \text{Bq}$	使用
8	榆林院区核医学科碘库	乙级	I-131	$1.11 \times 10^8 \text{Bq}$	$9.25 \times 10^{10} \text{Bq}$	使用
9	榆林院区核医学科碘库	乙级	I-125 （粒子源）	$4.44 \times 10^6 \text{Bq}$	$1.33 \times 10^{12} \text{Bq}$	使用
10	榆林院区核医学科放免室	乙级	I-125	$4.44 \times 10^5 \text{Bq}$	$1.33 \times 10^9 \text{Bq}$	使用

11	榆林院区合成热室	乙级	F-18	$5.54 \times 10^8 \text{Bq}$	$1.66 \times 10^{11} \text{Bq}$	生产, 使用
12	榆林院区合成热室	乙级	C-11	$1.85 \times 10^8 \text{Bq}$	$5.55 \times 10^{10} \text{Bq}$	生产, 使用
(三) 射线装置						
序号	射线装置名称		射线装置类别	射线装置数量	活动种类	
1	移动 DR		Ⅲ类	1 台	使用	
2	移动 DR		Ⅲ类	1 台	使用	
3	牙片机		Ⅲ类	1 台	使用	
4	牙片机		Ⅲ类	2 台	使用	
5	小 C 臂		Ⅲ类	3 台	使用	
6	胃肠机		Ⅲ类	1 台	使用	
7	碎石机		Ⅲ类	1 台	使用	
8	数字胃肠机		Ⅲ类	1 台	使用	
9	乳腺机		Ⅲ类	1 台	使用	
10	全景曲面断层机		Ⅲ类	1 台	使用	
11	全景机		Ⅲ类	1 台	使用	
12	平板探测器血管造影仪		Ⅱ类	2 台	使用	
13	模拟定位机		Ⅲ类	1 台	使用	
14	口腔 CT 机		Ⅲ类	1 台	使用	
15	回旋加速器		Ⅱ类	1 台	使用	
16	车载 DR		Ⅲ类	1 台	使用	
17	PET-CT		Ⅲ类	1 台	使用	
18	ELEKTA 直线加速器		Ⅱ类	1 台	使用	
19	DSA		Ⅱ类	1 台	使用	
20	DR		Ⅲ类	1 台	使用	
21	DR		Ⅲ类	1 台	使用	
22	DR		Ⅲ类	1 台	使用	
23	DR		Ⅲ类	1 台	使用	
24	DR		Ⅲ类	1 台	使用	
25	DR		Ⅲ类	1 台	使用	
26	C 型臂		Ⅲ类	3 台	使用	
27	64 排 CT		Ⅲ类	1 台	使用	
28	64 排 CT		Ⅲ类	1 台	使用	
29	16 排 CT		Ⅲ类	1 台	使用	
30	16 排 CT		Ⅲ类	1 台	使用	
31	128 排 CT		Ⅲ类	1 台	使用	

经核查, 榆林市第一医院两个院区现有的射线装置、密封放射源、非密封放射性物质与辐射安全许可证上许可的内容一致。

1.3.3 医院辐射安全与管理现状

榆林市第一医院已成立辐射安全与防护管理小组, 明确机构成员组成、相关工作职责, 安排专人负责医院的辐射安全管理工作。医院辐射工作管理逐步规范, 制定了较为完善的规章制度。医院已制定的制度主要有: 《辐射防护和安全保卫制度》、

《辐射工作设备操作规程》、《辐射设备维护、维修制度》、《辐射工作人员培训制度》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射工作场所监测制度》、《放射工作人员职业病健康管理制度》、《放射工作人员和监测设备管理制度》、《榆林市第一医院辐射事故应急预案》、《个人剂量监测管理制度》、《核医学科医护人员的职责》、《核医学科工作制度》、《核医学工作人员的防护》、《放射性核素的订购、领取、保管、使用制度》、《放射性药物收发和保管制度》、《放射性三废处理方案》、《放射性废物处理及事故处理》、《放射性事故管理及应急措施》等，以及各辐射设备的操作规程等一系列规章制度，用于医院辐射安全管理。

医院现有辐射工作人员以及辐射安全管理人员共 91 人，均参加了环保部门认可的单位组织的辐射防护与安全培训，接受辐射防护安全知识与法律法规教育，并取得了培训合格证书。本次评价涉及的辐射工作人员及辐射管理人员共计 20 人均已取得培训证书（见附件 3）。

辐射工作人员工作期间佩带个人剂量计，接受剂量监测，建立了个人剂量健康档案并存档。各辐射设备运行良好，无辐射安全事故发生。根据医院提供的职业性外照射个人剂量检测报告（见附件 4），检测周期为 2018 年 12 月 11 日~2019 年 11 月 30 日医院所有相关辐射工作人员的连续一年的累积剂量为 0.04~13.41mSv，均满足不大于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的 20mSv 的剂量限值。

根据医院提供的职业健康检查结果（见附件 5），本次安排的 20 名辐射工作人员职业健康检查结果均为“放射性作业体检未见疑似职业病及职业禁忌证”，均可继续从事原放射性工作，但应注意防护，定期体检。

1.4 项目建设规模

1.4.1 项目简介

项目名称：肿瘤诊疗中心核技术利用改造项目

建设单位：榆林市第一医院

建设地点：榆林市高新区榆溪大道 93 号榆林市第一医院院内

建设规模：1 台直线加速器、1 台后装机、1 台大孔径 CT

项目性质：改建

1.4.2 本次环评建设内容及规模

榆林市第一医院拟在榆林院区原门诊楼负一层肿瘤诊疗中心改建一间 CT 扫描间及控制室、诊室、物理室、一间后装机房以及其他辅助用房等，同时新购 1 台大孔径 CT（属于Ⅲ类射线装置），将负二层的后装机（使用 1 枚 ^{192}Ir 密封放射源，活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，属于Ⅲ类放射源）搬迁至负一层改建机房内；将负二层的后装机房改造成直线加速器机房，新购 1 台 10MV 直线加速器（属于Ⅱ类射线装置）。

本项目组成见表 1-4，本次评价包含的射线装置见表 1-5。

表 1-4 项目组成一览表

序号	项目	组成	备注
一	主体工程		
1	大孔径 CT	改建一间 CT 机房，机房建筑面积约 34.1m^2 ；控制室位于机房北侧，建筑面积约 15.36m^2 。	改建
2	后装机	改建一间后装机房，建筑面积约 30.5m^2 ；控制室位于机房西侧，建筑面积约 10m^2 。冲洗间 14.1m^2 ，准备间及等候室建筑面积约 22.7m^2 ，物理室建筑面积约 49m^2 。	改建；搬迁原有的后装机，使用 1 枚 ^{192}Ir 密封放射源，活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，Ⅲ类放射源。
3	10MV 直线加速器	对原有的后装机房进行改造，建筑面积约 150m^2 ；包括治疗室（ 89.87m^2 ）、控制室（ 20.5m^2 ）、辅助机房（ 17.68m^2 ）、循环水房（ 16.2m^2 ）等。	改造；拟新购 1 台 10MV 医用直线加速器。
二	公用工程		
1	给水工程	由医院内主供水管网接入	依托主供水管网
2	排水工程	医疗废水接入院内主排水管网	依托主排水管网
3	供配电工程	由院内配电室接入电源	依托供配电系统
4	通风系统	后装机机房、直线加速器机房、大孔径 CT 治疗室均设机械通风系统化，换气次数 6 次/h，其他用房换气次数为 4 次/h。	新建
三	环保工程		
1	废水	操作人员生活污水经院区污水处理系统处理后排往市政管网	依托院区现有设施
2	固废	操作人员生活垃圾收集后交由环卫部门统一处置；后装机使用寿命到期后的废旧放射源由厂家回收	生活垃圾依托院区现有设施；废旧放射源由厂家回收

续表 1-4 项目组成一览表

序号	项目	组成	备注
3	辐射防护	10MV 直线加速器机房：东侧主屏蔽墙采用 2400mm 钢筋混凝土+160mm 厚(20mm×8 层)防护钢板、宽度 4.14m，次屏蔽采取 1200mm 钢筋混凝土+140mm 厚(20mm×7 层)防护钢板；西侧主屏蔽墙为 800mm 钢筋混凝土+土层，西墙外无建筑；北侧屏蔽墙体东半部为 800mm 钢筋混凝土+220mm 厚(20mm×11 层)防护钢板，西半部为 800mm 钢筋混凝土+土层(墙外无建筑)；南墙迷路内墙为 1250mm 钢筋混凝土+100mm 厚(20mm×5 层)防护钢板，迷路外墙为 1200mm 钢筋混凝土，迷路进入机房处增加 3m 宽的 100mm 厚(20mm×5 层)防护钢板；房顶主屏蔽采用 300mm 钢筋混凝土+320mm 厚(20mm×16 层)防护钢板，主屏蔽宽度 4.14m，次屏蔽采用 300mm 钢筋混凝土，屋顶上方为 2.3m 厚的土层，无建筑；地面采取 120mm 厚混凝土+20mm 水泥砂浆+3mm 环氧自流平水泥砂浆。铅门：采取 16mmPb 铅防护门。	改造；将墙体及顶部增加防护钢板，主屏蔽宽度增加，更换现有的铅防护门
		后装机：北侧、东侧、西侧屏蔽墙采用 800mm 钢筋混凝土；南侧迷路内墙为 600mm 钢筋混凝土、迷路外墙为 250mm 钢筋混凝土+土层(墙外无建筑)；房顶采用 800mm 钢筋混凝土；地面采取 60mm 厚混凝土+20mm 水泥砂浆+3mm 环氧自流平水泥砂浆。铅门：采取 8mmPb。	在机房西侧建设控制室、冲洗间、准备及候诊间等
		大孔径 CT：北墙、东墙、西墙采用 370mm 实心砖墙进行防护，南墙为 250mm 混凝土，顶部为 180mm 钢筋混凝土+2mmPb 防护铅板，地面采取 60mm 厚混凝土+20mm 水泥砂浆+3mm 环氧自流平水泥砂浆。铅门、铅窗均采用 3mmPb。	对顶部进行防护，增加 2mmPb 防护铅板

表 1-5 本次环评涉及的放射源和射线装置情况一览表

(一) 放射源						
序号	放射源名称	放射源种类		活度（贝可）×枚数	活动种类	
1	¹⁹² Ir	Ⅲ类		3.7×10 ¹¹ Bq×1 枚	使用（原有）	
(二) 射线装置						
序号	射线装置名称	类别	数量	设备型号	安装位置	备注
1	10MV 直线加速器	Ⅱ类	1 台	瓦里安 Vitalbeam	肿瘤诊疗中心 负二层	新购
2	大孔径 CT	Ⅲ类	1 台	飞利浦 Brilliance Big Bore CT	肿瘤诊疗中心 负一层	新购

1.4.3 本次项目拟配备的放射性工作人员

本次拟配备的相关辐射工作人员均为医院现有放射性工作人员，均不涉及操作其他射线装置。具体人员配备情况见表 1-6。

表 1-6 本项目放射性工作人员一览表

姓名	职务	拟使用的设备	是否有辐射安全培训证书
丁延慧	物理师	辐射防护管理人员	是
汪良环	病理医生	辐射防护管理人员	是
郝光军	医生	直线加速器	是
张兵兵	医生		是
文 慧	医生		是
苏虎艳	医生		是
马彦娥	医生		是
任东峰	医生		是
宋雪梅	医生		是
杜 正	技师		是
王 伟	技师		是
刘 贝	技师		是
雷 继	技师		是
李小峰	医生	后装机	是
孙新宇	医生		是
刘东梅	医生		是
李欣烘	技师		是
王倩如	医生	大孔径 CT	是
段琴琴	医生		是
刘 忠	技师		是

1.4.4 本次改扩建前后建设内容比对

根据建设单位提供资料，本项目肿瘤诊疗中心负一层原为车库，本次改建为诊室、物理室、CT 扫描间、控制室、后装机房以及其他辅助用房；本次改造的直线加速器机房原为后装机房。本次改造前后建设内容见表 1-7。

表 1-7 机房改建前后建设内容一览表

改建前后装机房建设内容	改建措施	改建后 10MV 加速器机房建设内容
原机房北墙为 800mm 后钢筋混凝土，东侧主屏蔽墙采用 2400mm 钢筋混凝土，宽度 3.4m；西侧主屏蔽墙为 800mm 钢筋混凝土+土层，其西侧为土层，无建筑；南墙迷路内墙为 1250mm 钢筋混凝土，迷路外墙为 1200mm 钢筋混凝土；房顶主屏蔽采用 300mm 钢筋混凝土，主屏蔽宽度 3.4m，次屏蔽采用 300mm 钢筋混凝土。	北侧屏蔽墙体东半部增加长度为 5.1m、厚 220mm（20mm×11 层）防护钢板；东侧主屏蔽体增加 160mm 厚（20mm×8 层）防护钢板，在两侧分别加宽 370mm 重晶石砌块，使主屏蔽宽度增加至 4.14m；南墙迷路内墙增加等长度的 100mm 厚（20mm×5 层）防护钢板；迷路进入机房处增加 3m 宽的 100mm 厚（20mm×5 层）防护钢板；房顶主屏蔽增加 320mm 厚（20mm×16 层）防护钢板，主屏蔽宽度增由原来的 3.4m 增加至 4.14m。	北侧屏蔽墙体东半部为 800mm 钢筋混凝土+220mm 厚（20mm×11 层）防护钢板，西半部为 800mm 钢筋混凝土+土层（墙外无建筑）；东侧主屏蔽墙采用 2400mm 钢筋混凝土+160mm 厚（20mm×8 层）防护钢板，宽度 4.14m；西侧主屏蔽墙为 800mm 钢筋混凝土+土层，其西侧为土层，无建筑；南墙迷路内墙为 1250mm 钢筋混凝土+100mm 厚（20mm×5 层）防护钢板，迷路外墙为 1200mm 钢筋混凝土，迷路进入机房处增加 3m 宽的 100mm 厚（20mm×5 层）防护钢板；房顶主屏蔽采用 300mm 钢筋混凝土+320mm 厚（20mm×16 层）防护钢板，主屏蔽宽度 4.14m，次屏蔽采用 300mm 钢筋混凝土。铅门：采取 16mmPb 铅防护门。
采取 8mmPb 铅防护门。	更换新的防护门，增加铅当量。采取 16mmPb 铅防护门。	
改建前机房建设内容	改建措施	改建后的后装机房、CT 扫描间建设内容
负一层原为车库	建设诊室、物理室、CT 扫描间、控制室、后装机房以及其他辅助用房	总建筑面积约 600m ² 。CT 扫描间 34.1m ² 、控制室 15.36m ² ；后装机房 21.16m ² ，迷道内墙长 3.5m，迷道外墙长 6.2m，控制室 10m ² ；冲洗间 14.1m ² ；准备间及等候室 22.7m ² ；物理室 49m ² ，以及其他辅助用房。

改建前后相应设备变更情况见下表。

表 1-8 机房改建前后相应设备变更情况

	改建前设备	改建后设备
设备名称	^{192}Ir 后装机	10MV 直线加速器
型号	科林众 KL-HDR-C	瓦里安 Vitalbeam
用途	肿瘤治疗	肿瘤治疗
	改建前设备	改建后设备
设备名称	无	^{192}Ir 后装机
型号	/	科林众 KL-HDR-C
用途	/	肿瘤治疗
	改建前设备	改建后设备
设备名称	无	大孔径 CT
型号	/	Brilliance Big Bore CT
用途	/	诊断检查摄影

1.5 项目周围环境

(1) 医院周边环境

榆林市第一医院榆林院区位于榆林市高新区榆溪大道 93 号，医院四周均邻路，北侧隔道路为国华小区，东侧隔道路为尚郡小区，南侧为榆溪大道，西侧为北西环路。周边交通便利，地理位置图见图 1-1。医院周边环境关系见图 1-2。



图 1-1 榆林市第一医院榆林院区地理位置图



图 1-2 医院四邻关系图

(2) 项目所在建筑周边环境

本项目直线加速器机房、后装机机房及大孔径 CT 机房分别位于原门诊楼肿瘤诊疗中心负一层和负二层，该楼北侧约 8.5m 为原住院楼，东侧约 16m 为职工食堂和高压氧仓，北侧为地面停车场，南侧为医院花园，西侧为院内道路和西厂界。

本次评价的直线加速器机房位于肿瘤诊疗中心负二层，其地下无建筑，楼上为室外地面；后装机机房及大孔径 CT 机房位于负一层，其地下无建筑，楼上为急诊科。

医院平面布置图及本项目位置关系见图 1-3。

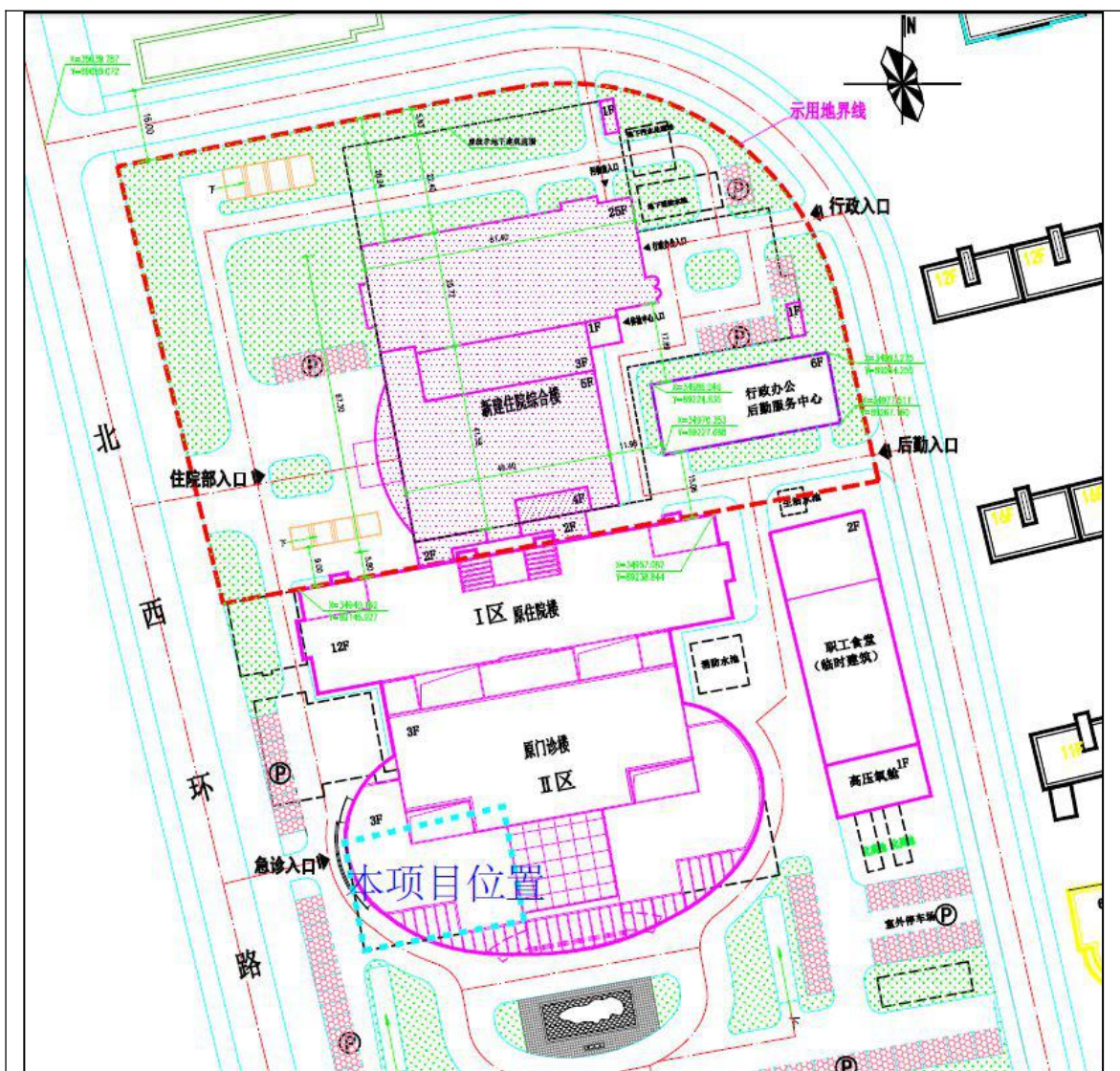


图 1-3 医院平面布置图及本项目位置关系

(3) 机房周围环境

本次改造项目位于原门诊楼负一层和负二层，本项目负一层和负二层的比邻关系见附图 1 所示，负一层剖面图见图 1-4，负二层剖面图见图 1-5。

后装机机房及大孔径 CT 机房位于原门诊楼肿瘤诊疗中心负一层，其地下无建筑，楼上为急诊科，南侧无建筑为土层。后装机机房北侧为物理室，西侧为控制室和患者通道，东侧为电梯间及医务人员通道。大孔径 CT 机房西侧为气瓶间和质控室，北侧为控制室，东侧为准备和等待室及患者通道。本次改造后负一层平面布置图见附图 2。

本次评价的直线加速器机房位于原门诊楼负二层，其地下无建筑，楼上为停车库，南侧为高能机机房，西侧和北侧偏西部为土层，北侧偏东部位消防通道，东侧

为操作室及患者通道。本次改建后负二层平面布置图见附图 3。

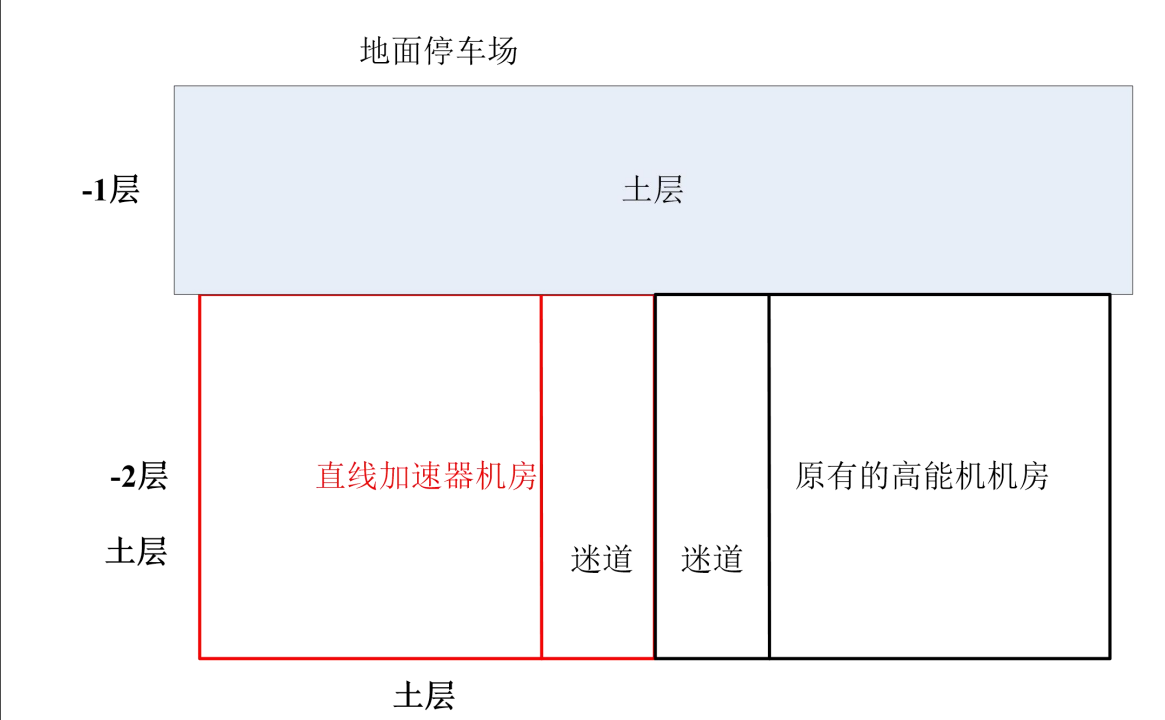


图 1-4 直线加速器机房剖面示意图（A-A 剖面）



图 1-5 后装机机房剖面示意图（B-B 剖面）

1.6 实践正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。

电子直线加速器、大孔径 CT、后装机等在医疗诊断、治疗方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用。辐射诊疗项目营运以后，将为患者提供一个优越的诊疗环境，具有明显的社会效益，同时将提高医院档次及服务水平，吸引更多的就诊人员，医院在保障患者健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。

执业医师和有关医技人员应根据诊疗目的和受照人员特征对医疗照射实践进行正当性判断，应尽可能使用与计划照射相关的患者先前已有的诊断信息和医学记录，避免不必要的重复照射。

因此，该医院电子直线加速器、大孔径 CT、后装机的使用对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，本项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

1.7 产业政策符合性分析

本项目属于《产业结构调整指导目录（2019 年本）》中鼓励类“六、核能----6、同位素、加速器及辐照应用技术开发”项目，故项目符合国家产业政策。

1.8 本项目建成后医院放射源、放射性同位素及射线装置汇总

本项目建成后，榆林市第一医院使用的放射源、放射性同位素及射线装置清单汇总见下表。

表 1-9 本项目建成后医院放射源、非密封放射性物质和射线装置一览表

（一）放射源						
序号	放射源名称		放射源种类		活度（贝可）×枚数	活动种类
1	Sr-90		V类		$1.48 \times 10^9 \text{Bq} \times 1$	使用
2	Ir-192		III类		$3.7 \times 10^{11} \text{Bq} \times 1$	使用
3	Ge-68		V类		$3.5 \times 10^6 \text{Bq} \times 1$	使用
4	Ge-68		V类		$1.85 \times 10^7 \text{Bq} \times 1$	使用
（二）非密封放射性物质						
序号	工作场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量	年最大用量	活动种类
1	榆林院区核医学科淋洗室	乙级	Tc-99m	$3.7 \times 10^7 \text{Bq}$	$8.88 \times 10^{11} \text{Bq}$	生产，使用
2	榆林院区核医学科注射室	乙级	Sr-89	$3.7 \times 10^6 \text{Bq}$	$1.11 \times 10^{11} \text{Bq}$	使用
3	榆林院区核医学科敷贴室	乙级	P-32	$2.22 \times 10^8 \text{Bq}$	$6.66 \times 10^{11} \text{Bq}$	使用

4	榆林院区合成热室	乙级	O-15	$6.15 \times 10^5 \text{Bq}$	$7.4 \times 10^7 \text{Bq}$	生产, 使用
5	榆林院区合成热室	乙级	N-13	$1.85 \times 10^8 \text{Bq}$	$5.55 \times 10^{10} \text{Bq}$	生产, 使用
6	榆林院区核医学科淋洗室	乙级	Mo-99	$3.7 \times 10^6 \text{Bq}$	$8.88 \times 10^{11} \text{Bq}$	使用
7	绥德院区核医学科碘源库、服药室	乙级	I-131	$7.4 \times 10^7 \text{Bq}$	$3.11 \times 10^{10} \text{Bq}$	使用
8	榆林院区核医学科碘库	乙级	I-131	$1.11 \times 10^8 \text{Bq}$	$9.25 \times 10^{10} \text{Bq}$	使用
9	榆林院区核医学科碘库	乙级	I-125 (粒子源)	$4.44 \times 10^6 \text{Bq}$	$1.33 \times 10^{12} \text{Bq}$	使用
10	榆林院区核医学科放免室	乙级	I-125	$4.44 \times 10^5 \text{Bq}$	$1.33 \times 10^9 \text{Bq}$	使用
11	榆林院区合成热室	乙级	F-18	$5.54 \times 10^8 \text{Bq}$	$1.66 \times 10^{11} \text{Bq}$	生产, 使用
12	榆林院区合成热室	乙级	C-11	$1.85 \times 10^8 \text{Bq}$	$5.55 \times 10^{10} \text{Bq}$	生产, 使用
(三) 射线装置						
序号	射线装置名称		射线装置类别	射线装置数量	活动种类	
1	移动 DR		Ⅲ类	1 台	使用	
2	移动 DR		Ⅲ类	1 台	使用	
3	牙片机		Ⅲ类	1 台	使用	
4	牙片机		Ⅲ类	2 台	使用	
5	小 C 臂		Ⅲ类	3 台	使用	
6	胃肠机		Ⅲ类	1 台	使用	
7	碎石机		Ⅲ类	1 台	使用	
8	数字胃肠机		Ⅲ类	1 台	使用	
9	乳腺机		Ⅲ类	1 台	使用	
10	全景曲面断层机		Ⅲ类	1 台	使用	
11	全景机		Ⅲ类	1 台	使用	
12	平板探测器血管造影仪		Ⅱ类	2 台	使用	
13	模拟定位机		Ⅲ类	1 台	使用	
14	口腔 CT 机		Ⅲ类	1 台	使用	
15	回旋加速器		Ⅱ类	1 台	使用	
16	车载 DR		Ⅲ类	1 台	使用	
17	PET-CT		Ⅲ类	1 台	使用	
18	ELEKTA 直线加速器		Ⅱ类	1 台	使用	
19	DSA		Ⅱ类	1 台	使用	
20	DR		Ⅲ类	1 台	使用	
21	DR		Ⅲ类	1 台	使用	
22	DR		Ⅲ类	1 台	使用	
23	DR		Ⅲ类	1 台	使用	
24	DR		Ⅲ类	1 台	使用	
25	DR		Ⅲ类	1 台	使用	

26	C 型臂	Ⅲ类	3 台	使用
27	64 排 CT	Ⅲ类	1 台	使用
28	64 排 CT	Ⅲ类	1 台	使用
29	16 排 CT	Ⅲ类	1 台	使用
30	16 排 CT	Ⅲ类	1 台	使用
31	128 排 CT	Ⅲ类	1 台	使用
32	10MV 直线加速器	Ⅱ类	1 台	使用
33	大孔径 CT	Ⅲ类	1 台	使用

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	¹⁹² Ir	3.7×10 ¹¹ Bq/3.7×10 ¹¹ Bq×1 枚	Ⅲ类	使用	医学治疗	肿瘤诊疗中心负一层后装机房	后装机机头内	固态密封源
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度（n/s）。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	10MV 直线加速器	II	1 台	瓦里安 Vitalbeam	电子	10	2400cGy/min	放射治疗	肿瘤诊疗中心 负二层	新购
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	大孔径 CT	III	1 台	Brilliance Big Bore CT	140	500	诊断检查	肿瘤诊疗中心负一层	搬迁
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μ A)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
退役 ¹⁹² Ir 放射源	固态密封源	¹⁹² Ir	/	/	/	/	不暂存	由放射源生产厂家回收处置
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	/	/	/	/	通过排风扇排出室外
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1、常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³；年排放总量用 kg。

2、含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	1、《中华人民共和国环境影响评价法（2018 修正版）》（2018.12.29）； 2、《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003.10.1）； 3、《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 682 号令，2017.10.1）； 4、《建设项目环境影响评价分类管理名录（修订）》（原环境保护部令第 44 号令、生态环境部第 1 号令，2018.4.28）； 5、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修订）（2019.03.02）； 6、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2019 年修订）》（2019.08.22）； 7、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部 18 号令，2011.5.1）； 8、《射线装置分类办法》（原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017.12.5）； 9、《放射源分类办法》（原国家环境保护总局公告，2005 年第 62 号，2005.12.23）； 10、《放射性废物分类》（2018.01.01）； 11、《陕西省放射性污染防治条例（2019 年修正）》（2019.11.06）； 12、陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的通知（陕环办发[2018]29 号，2018.6.6）。
------	---

技术标准	1、《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）； 2、《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）； 3、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； 4、《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）； 5、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）； 6、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）； 7、《密封放射源及密封γ放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ114-2006）； 8、《后装γ源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017）； 9、《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）； 10、《X 射线计算机断层摄影放射卫生防护标准》（GBZ165-2012）。
其他	1、榆林市第一医院委托开展环境影响评价的委托书； 2、其他与项目有关的资料。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围									
本项目为使用II类和III类射线装置，使用III类放射源。根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的规定，结合该项目特点，确定本项目辐射环境评价范围为后装机房、直线加速器机房、CT 大孔径机房四周墙体外 50m 的区域。									
保护目标									
保护目标分为职业照射人群及公众人群，职业照射人群为直线加速器、大孔径CT、后装机的医护工作人员；公众人群为射线装置及放射源所在场所实体屏蔽物边界外 50m 范围内其他医护人员及公众。本项目的保护目标见表 7-1。									
表 7-1 项目保护目标一览表									
装置	序号	保护对象		相对方位	距离机房的最近距离（m）	距离放射源最近距离（m）	保护人数	保护内容	控制目标
后装机	1	职业照射人群	操作人员	W	紧邻	3.5	6 人	年有效剂量	不大于 5mSv
	2	公众人群	物理室	N	紧邻	3.4	3 人	年有效剂量	不大于 0.25 mSv
	3		前室	E	紧邻	3.5	5 人		
	4		楼上急诊科	楼上	紧邻	3.8	10 人		
10MV 直线加速器	1	职业照射人群	操作人员	E	紧邻	6.9	6 人	年有效剂量	不大于 5mSv
	2	公众人群	消防通道人员	S	紧邻	5.1	5 人	年有效剂量	不大于 0.25 mSv
	3		患者通道	E	紧邻	7.5	3 人		
	4		地面流动人群	楼上	紧邻	7.8	2 人		
大孔径 CT	1	职业照射人群	操作人员	N	紧邻	3.4	3 人	年有效剂量	不大于 5mSv
	2	公众人群	会议室人员	N	2.5m	5.9	10 人	年有效剂量	不大于 0.25 mSv
	3		质控室人员	W	紧邻	3.5	2 人		
	4		患者通道	E	紧邻	2.9	3 人		
	5		冲洗室	E	3.3m	6.2	3 人		
	6		准备间、候诊区	E	紧邻	4.2	3 人		
	7		急诊科	楼上	紧邻	3.3	10 人		

评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

11.4.3.2 剂量约束值通常应在照射剂量限值 10%~30%的范围之内。

附录 B 剂量限值和表面污染控制水平：

B1.1.1.1 条规定：应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv（本项目取其四分之一即 5mSv 作为职业工作人员的年剂量约束限值）。

B1.2.1 规定：实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估算值不应超过下述限值：年有效剂量，1mSv（本项目取其四分之一即 0.25mSv 作为公众人员的年剂量约束限值）。

2、《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）

本标准适用于标称能量在 50MeV 以下的医用电子加速器的生产和使用。

6.1 治疗室的防护要求

6.1.1 治疗室选址、场所布局和防护设计应符合 GB18871 的要求，保障职业场所和周围环境安全。

6.1.2 有用线束直接投照的防护墙（包括天棚）按初级辐射屏蔽要求设计，其余墙壁按次级辐射屏蔽要求设计，辐射屏蔽设计应符合 GBZ/T201.1 的要求。

6.1.3 在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围空气吸收剂量率应不大于 2.5μSv/h。

6.1.4 穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。

6.1.6 治疗室和控制室之间必须安装监视和对讲设备。

6.1.7 治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于 45m²。

6.1.8 治疗室入口处必须设置防护门和迷路，防护门应与加速器联锁。

6.1.9 相关位置（例如治疗室入口处上方等）应安装醒目的照射指示灯及辐射标志。

6.1.10 治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。

8.1 辐射防护监测

8.1.4 在加速器正常运行情况下，安全联锁系统每月检查 1 次。

8.1.5 在加速器正常运行情况下，工作场所和周围区域辐射水平每年监测 1 次，

3、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》 (GBZ/T201.2-2011)

4.2 剂量控制要求

4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平

治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率应不大于下述 a)、b) 和 c) 所确定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_C$ ：

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，可以依照附录 A，由以下周剂量参考控制水平 (H_C) 求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{C,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)：

1) 放射治疗机房外控制区的工作人员： $H_C \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；

2) 放射治疗机房外非控制区的人员： $H_C \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

b) 按照关注点人员居留因子的下列不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制 $\dot{H}_{C,\max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)：

1) 人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{C,\max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

2) 人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{C,\max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。

c) 由上述 a) 中的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{C,d}$ 和 b) 中的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{C,\max}$ ，选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_C$ (Sv/h)。

4.2.2 治疗机房顶的剂量控制要求

治疗机房顶的剂量应按下述 a)、b) 两种情况控制：

a) 在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自然辐射源点到机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面 30cm 处和 (或) 在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，可以根据机房外周剂量参考控制水平 $H_C \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 和最高剂量率 $H_{C,\max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，按照 4.2.1 求得关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_C$ ($\mu\text{Sv/h}$) 加以控制。

b) 除 4.2.2 中 a) 的条件外，应考虑下列情况：

1) 天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的剂量(率)的总和,应按 4.2.2 中的 a) 确定关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$) 加以控制。

2) 穿出治疗机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射,以相当于机房外非控制区人员周剂量率控制指标的年剂量 $250\mu\text{Sv}$ 加以控制;

3) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶,考虑上述 1) 和 2) 之后,机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100\mu\text{Sv/h}$ 加以控制(可在相应处设置辐射告示牌)。

4、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分: γ 射线源放射治疗机房》 (GBZ/T201.3-2014)

4.1 剂量控制要求

4.1.1 治疗机房墙外和入口门外关注点的周围剂量当量率参考控制水平

治疗机房墙和入口门外关注点的周围剂量当量率(以下简称剂量率)应不大于下述 a)、b) 和 c) 所确定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$:

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子,可以依照附录 A,由以下周剂量参考控制水平 H_c ($\mu\text{Sv/周}$) 求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$) :

放射治疗机房外控制区的工作人员: $H_c \leq 100\mu\text{Sv/周}$;

放射治疗机房外非控制区的人员: $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ 。

b) 按照关注点人员居留因子(T)的不同,确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$) :

人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$;

人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。

c) 由上述 a) 中的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 和 b) 中的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$, 选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$)。

4.1.2 治疗机房顶的剂量控制要求

治疗机房顶的剂量应按下述 a)、b) 两种情况控制:

a) 在治疗机房正上方有建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自放射源点到机房顶内表面边缘所张立体角区域时, 距治疗机房顶外表面 30cm 处和 (或) 在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处, 可以根据机房外周剂量参考控制水平 $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/h}$ 和最高剂量率 $\dot{H}_{c, \max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$, 按照 4.1.1 求得关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$) 加以控制。

b) 除 4.1.2 中 a) 的条件外, 应考虑下列情况:

1) 天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿透机房墙壁辐射在相应处的剂量率的总和, 应按 4.1.2 中的 a) 确定关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv/h}$) 加以控制;

2) 穿透治疗机房屋顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射, 以年剂量 250 μSv 加以控制;

3) 对无人员停留并只有借助工具才能进入的机房顶, 考虑上述 1) 和 2) 之后, 机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 100 $\mu\text{Sv/h}$ 加以控制 (可在相应处设置辐射告示牌)。

4.2.3 治疗机房一般屏蔽要求

除需满足 GBZ/T201.1 的要求外, γ 射线源放射治疗机房屏蔽应参考下列内容:

a) 后装治疗按 4π 发射的点源考虑机房屏蔽, 应在治疗机房的地面标识出相应机房外可能受照剂量最高的使用位置, 作为计算屏蔽时的辐射源参考位置。

e) 后装治疗机房、 γ 远距治疗机房和体部 γ 刀治疗机房应设置迷路。

5、《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》(GBZ121-2017)

1 范围

本标准规定了后装 γ 源近距离放射治疗 (下称“后装放疗”) 设备、治疗室和实施后装放射治疗的放射防护要求。

本标准适用于 γ 源后装治疗实践。

4.2 贮源器

4.2.1 放射源运输贮源器表面应标有放射性核素名称, 最大容许装载活度和牢固、醒目的、符合 GB18871 要求的电离辐射警告标志。

4.2.2 工作贮源器内装载最大容许活度的放射源时，距离贮源器表面 5cm 处的任何位置，因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $50\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ；距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $5\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

4.2.3 装载放射源的运输贮源器或工作贮源器，应存放在限制一般人员进入的放射治疗室或专用贮源库内。

5 治疗室的防护要求

5.1 治疗室应与准备室、控制室分开设置。治疗室内有效使用面积应不小于 20m^2 ，应将治疗室设置为控制区，在控制区进出口设立醒目的符合 GB18871 规定的辐射警告标志，严格控制非相关人员进入控制区；将控制区周围的区域和场所设置为监督区，应定期对这些区域进行监督和评价。

5.2 治疗室应设置机械通风装置，其通风换气能力应达到治疗期间内使室内空气每小时交换不小于 4 次。

5.3 治疗室入口应采用迷路形式，安装防护门并设置门-机联锁，开门状态不能出源照射，出源照射状态下若开门放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。治疗室外防护门上方要有工作状态显示。治疗室内适当位置应设置急停开关，按下急停开关应能使放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。

5.4 治疗室防护门应设置手动开门装置。

5.5 在控制室与治疗室之间应设监视与对讲设施，如设置观察窗，其屏蔽效果应与同侧的屏蔽墙相同。

5.6 设备控制台的设置应能使操作者在任何时候都能全面观察到通向治疗室的通道情况。

5.7 应配备辐射监测设备或便携式测量设备，并具有报警功能。

5.8 治疗室墙壁及防护门的屏蔽厚度应符合防护最优化的原则，治疗室屏蔽体外 30cm 处因透射辐射所致的周围剂量当量率应不超过 $2.5\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

5.9 在治疗室迷道出、入口处设置固定式辐射剂量监测仪并应有报警功能，其显示单元应设置在控制室内或机房门附近。

5.10 治疗室应配备有合适的储源容器、长柄镊子等应急设备。

5.11 治疗室内合适的地方应张贴应急指示。

6 实施后装治疗时的防护要求

6.8 实施治疗时，除病人外，治疗室内不得停留任何人员。

6.9 施源器、治疗床等表面因放射性物质所造成的 β 污染水平应低于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，若高于此污染水平应采取相应去污和放射源处理措施。

6.10 治疗单位应按 GBZ128 的要求对放射工作人员进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案；放射工作人员进入治疗室应携带个人剂量报警设备。

6、《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）

本标准适用于医用诊断放射学、牙科放射学和介入放射学实践。

5.1 X 射线设备机房（照射室）应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。

5.2 每台 X 射线机（不含移动式和携带式床旁摄影机与车载 X 射线机）应设有单独的机房，机房应满足使用设备的空间要求。对新建、改建和扩建的 X 射线机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应不小于表 7-2 要求。

表 7-2 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积 m^2	机房内最小单边长度 m
CT 机	30	4.5

5.3 X 射线设备机房屏蔽防护应满足如下要求：

a) 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护应不小于表 7-3 要求。

b) 医用诊断 X 射线防护中不同铅当量屏蔽物质厚度的典型值参见附录 D。

表 7-3 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mm	非有用线束方向铅当量 mm
CT 机房	2（一般工作量）a； 2.5（较大工作量）a	
a 按 GBZ/T180 的要求。		

c) 应合理设置机房的门、窗和管线口位置，机房的门和窗应有其所在墙壁相同的防护厚度。设于多层建筑中的机房（不含顶层）顶棚、地板（不含下方无建筑物的）应满足相应照射方向的屏蔽厚度要求。

d) 带有自屏蔽防护或距 X 射线设备表面 1m 处辐射剂量水平不大于 $2.5\mu\text{Gy}/\text{h}$ 时，可不使用带有屏蔽防护的机房。

5.4 在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处，机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a) 具有透视功能的 X 射线机在透视条件下监测时，周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；测量时，X 射线机连续出束时间应大于仪器响应时间。

b) CT 机、乳腺摄影、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影和全

身骨密度仪机房外的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 μ Sv/h; 其余各种类型摄影机房外人员可能受到照射的年有效剂量约束值应不大于 0.25mSv; 测量时, 测量仪器读出值应经仪器响应时间和剂量检定因子修正后得出实际剂量率。

5.5 机房应设有观察窗或摄像监控装置, 其设置的位置应便于观察到患者和受检者状态。

5.6 机房内布局要合理, 应避免有用线束直接照射门、窗和管线口位置; 不得堆放与该设备诊断工作无关的杂物; 机房应设置动力排风装置, 并保持良好的通风。

5.7 机房门外应有电离辐射警告标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯, 灯箱处应设警示语句; 机房门应有闭门装置, 且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动。

5.8 患者和受检者不应在机房内候诊; 非特殊情况, 检查过程中陪检者不应滞留在机房内。

5.9 每台 X 射线设备根据工作内容, 现场应配备不少于表 7-4 基本种类要求的工作人员、患者和受检者防护用品与辅助防护设施, 其数量应满足开展工作需要, 对陪检者应至少配备铅防护衣; 防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.25mmPb; 应为不同年龄儿童的不同检查, 配备有保护相应组织和器官的防护用品, 防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.5mmPb。

表 7-4 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
放射诊断学用 X 射线设备隔室透视、摄影	—	—	铅橡胶性腺防护围裙(方形)或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	或可调节防护窗口的立位防护屏; 固定特殊受检者体位的各种设备
注: “—”表示不要求。				

综合上述标准及陕西省相关规定, 结合各标准限值, 选用最不利的控制限值, 确定本项目的剂量限值见表 7-5。

表 7-5 本项目辐射剂量限值及污染物排放指标表

一、剂量要求			执行标准
执行对象	标准要求	年有效剂量管理目标	
放射工作人员	20mSv/a	5mSv/a	
公众人员	1mSv/a	0.25mSv/a	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 (GB18871-2002)

二、机房墙体表面控制限值			执行标准
机房外 30cm 处	直线加速器机房、大孔径 CT 机房、后装机机房外 30cm 处周围剂量当量率 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ 。		《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）；《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017）；《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）
三、机房面积控制			执行标准
设备名称	机房内最小有效使用面积	机房内最小单边长度	
大孔径 CT	30m ²	4.5m	《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）
直线加速器	45m ²	/	《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）
后装机	20m ²	/	《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017）

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 医院现有射线装置辐射环境质量现状

榆林市第一医院榆林院区现有 II 类射线装置 4 台, III 类射线装置 18 台, 一枚 III 类放射源, 两枚 V 类放射源, 以及以及非密封放射性物质工作场所, 主要分布于榆林院区的口腔科、影像科、体检中心、介入室、肿瘤科、核医学科等科室。榆林市第一医院委托陕西新高科辐射技术有限公司对榆林院区现有的核技术利用项目工作场所进行了监测, 监测时间分别为 2019 年 4 月 24 日、9 月 11 日、12 月 26 日、12 月 30 日, 并出具了监测报告(报告编号: FHJC-SXGK-062019016), 监测报告见附件 8。

监测结果表明:

(1) 榆林市第一医院榆林院区现有的核医学科工作场所观察窗、工作人员操作位、人员进出防护门以及四周屏蔽墙体的辐射剂量率、核医学科放射工作场所的表面污染水平分别符合《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006)、《电离辐射防护和辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 相关要求。

(2) 直线加速器机房放射工作人员操作位周围剂量当量率为 $0.1\sim0.24\mu\text{Sv/h}$, 人员进出门及四周墙体外周围剂量当量率为 $0.1\sim0.50\mu\text{Sv/h}$, 环境辐射水平均符合《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011) 和《电离辐射防护和辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 相关要求。

(3) 后装机放射工作人员操作位及屏蔽体外的周围剂量当量率为 $0.10\sim0.15\mu\text{Sv/h}$, 符合《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》(GBZ121-2017) 和《电离辐射防护和辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 相关要求。

(4) DSA 机①第一术位、第二术位周围剂量当量率为 $21\sim179.23\mu\text{Sv/h}$, DSA 机②第一术位、第二术位周围剂量当量率为 $15.4\sim129.71\mu\text{Sv/h}$, 符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 要求, 放射工作人员操作处、观察窗、人员进出防护门、屏蔽墙体及楼下的辐射剂量水平符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 和《电离辐射防护和辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 要求。

(5) 其余 III 类射线装置各机房屏蔽体外的辐射水平均符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 和《电离辐射防护和辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 要求。

(6) 移动式 DR 在正常工作状态下, 应按《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 的要求在工作机房内设立临时控制区, 并对同室人员采取必要的防护措施。

(7) 在透视条件下, DSA 机房①东墙配电箱处的周围剂量当量率为 $3.41\mu\text{Sv/h}$; 采集状态下, 东墙配电箱处的周围剂量当量率为 $20.64\mu\text{Sv/h}$; 不符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013), 故应及时对东墙配电箱处进行防护改造。

8.2 本项目所在区域辐射环境现状

本项目位于榆林市第一医院榆林院区原门诊楼负一层和负二层, 为了解本项目的辐射环境质量现状, 医院委托西安桐梓环保科技有限公司对项目所在地进行了环境地表 γ 辐射剂量率背景值监测。监测时间为 2020 年 4 月 25 日, 监测报告见附件 6。

(1) 监测项目: γ 辐射剂量率。

(2) 监测仪器: 见表 8-1。

表 8-1 检测设备一览表

设备名称	设备型号	测量范围	设备编号	检定单位	检定证书编号及有效期
X、 γ 剂量率仪	AT1123	$50\text{nSv/h} \sim 10\text{Sv/h}$	XATZ-YQ-014	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心	检定证书编号: 2019H21-20-2155920001-01, 检定有效期: 2019 年 11 月 11 日~2020 年 11 月 10 日

(3) 质量保证:

①监测人员持证上岗; ②监测仪器已校核, 在有效期内。

(4) 监测方法和依据:

监测方法和依据见下表所示。

表 8-2 监测方法和依据

监测项目	监测方法	监测依据
γ 辐射剂量率	仪器法	《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-93); 《环境监测用 X、 γ 辐射测量仪 第一部分剂量率仪型》(EJ/T984-95)

(5) 监测结果

监测数据见下表 8-3。

表 8-3 榆林市第一医院环境本底 γ 辐射空气吸收剂量率背景值监测结果

序号	监测地点	γ 辐射剂量率监测结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
1	榆林市第一医院 榆林院区室外	草地	医院室内、外环境本底
		水泥地	

2	门诊楼一层急诊科大厅内巡测	0.092~0.125	值
3	负一层肿瘤诊疗中心拟建地巡测	0.086~0.118	
4	负二层患者通道巡测	0.091~0.123	

由以上监测数据可知，榆林市第一医院榆林院区的室外环境本底 γ 辐射剂量率为 0.082~0.116 μ Sv/h 之间，室内环境本底 γ 辐射剂量率为 0.086~0.125 μ SV/h 之间，与陕西省榆林市 1988 年环境 γ 辐射剂量率（室内为 87~203nGy/h，室外为 66~188nGy/h，数据来自于《陕西省环境伽玛辐射剂量水平现状研究》）基本在同一水平，说明本项目所在地的辐射环境现状处于正常环境本底值水平。

8.3 本次改造项目涉及的原有放射源退役监测

本次改造项目涉及的原负二层 ^{192}Ir 治疗系统工作场所已实施退役， ^{192}Ir 放射源（III类）已进行回收处理，不存在密封放射源遗留问题。为了解退役场所的辐射环境现状，本次评价委托西安桐梓环保科技有限公司对现场进行了退役监测，监测时间为 2020 年 6 月 14 日，监测报告见附件 7。

（1）监测项目： γ 辐射剂量率、 β 表面污染。

（2）监测仪器：见表 8-4。

表 8-4 检测设备一览表

设备名称	设备型号	测量范围	设备编号	检定单位	检定证书编号及有效期
X、 γ 剂量率仪	AT1123	50nSv~10Sv/h	XATZ-YQ-014	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心	检定证书编号：2019H21-20-21559 20001-01，检定有效期：2019 年 11 月 11 日~2020 年 11 月 10 日
α 、 β 表面污染仪	FJ-2207	α : 0~9999 cps β : 0~9999 cps	XATZ-YQ-004	陕西省计量科学研究院	检定证书编号：HX10200068J，检定有效期：2020 年 01 月 10 日~2021 年 01 月 09 日

（4）质量保证：

①监测人员持证上岗；②监测仪器已校核，在有效期内。

（4）监测方法和依据：

表 8-5 监测方法和依据

监测项目	监测方法	监测依据
γ 辐射剂量率、 β 表面污染	仪器法	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；《环境监测用 X、 γ 辐射测量仪 第

		一部分剂量率仪型》（EJ/T984-95）； 《表面污染测定第1部分：β发射体（ $E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$ ） 和α发射体》（GB/T14056.1-2008）
--	--	--

（5）监测结果

监测数据见下表 8-6。

表 8-6 榆林市第一医院 ^{192}Ir 治疗系统工作场所已实施退役监测结果

监测地点	γ辐射剂量率监测结果（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	β表面污染（ Bq/cm^2 ）
^{192}Ir 治疗系统工作场所室内巡测	0.086~0.118	ND

备注：β表面污染主要对场所地面进行巡测。

由以上监测数据可知，榆林市第一医院榆林院区 ^{192}Ir 治疗系统工作场所γ辐射剂量率为 0.084~0.116 $\mu\text{Sv/h}$ 之间，地面β表面污染未检出，故 ^{192}Ir 治疗系统工作场所退役符合标准要求，不存在遗留污染问题。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

9.1 工程设备

本项目搬迁原有的 1 台铯源后装机，使用 1 枚 ^{192}Ir 密封放射源，活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，属于 III 类放射源；新购 1 台 10MV 直线加速器，属于 II 类射线装置；新购 1 台大孔径 CT，属于 III 类射线装置。

9.2 工艺分析

9.2.1 医用直线加速器

1、直线加速器主要性能参数

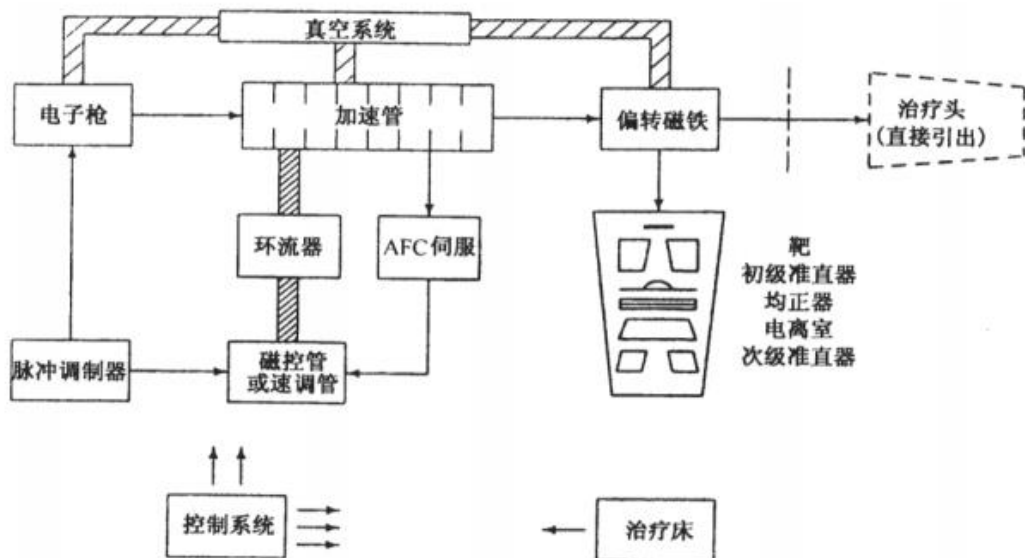
本评价涉及的 10MV 直线加速器主要技术参数见下表。

表 9-1 直线加速器主要技术指标一览表

项目名称	10MV 直线加速器参数值
X 射线能量	最大 10MV
电子射线能量	最大 15MeV
最大输出剂量率	2400cGy/min
X 射线泄漏率	$\leq 0.1\%$
最大辐射野	$40 \times 40\text{cm}^2$
源轴距（源到等中心点距离）	100cm
半影区	4.5mm
等中心高度	129.5cm
机架旋转	$\pm 185^\circ$
射线夹角	28°

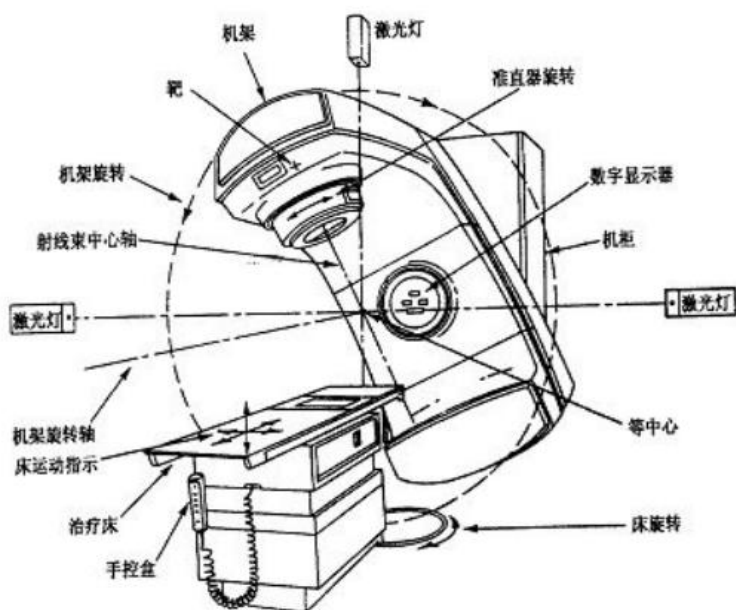
2、设备组成及工作方式

医用电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，它的结构单元有：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。医用电子直线加速器内部结构框图见图 9-1。



3、工作原理

医用直线加速器是产生高能电子束的装置，为远距离放射性治疗机。当高能电子束与靶物质相互作用时产生韧致辐射，即 X 射线。因此，医用电子直线加速器既可利用电子束对患者病灶进行照射，也可以利用 X 线束对患者病灶进行照射，杀伤肿瘤细胞。这样就可以在不用切开人体组织的情况下，把癌细胞消灭或抑制，其次射线可以把射线的能量集中在预定的位置上，从而保护周围的正常组织。典型医院直线加速器示意图见图 9-2 所示。



4、工艺流程

医用直线加速器的操作流程及产污环节示意图见图 9-3。

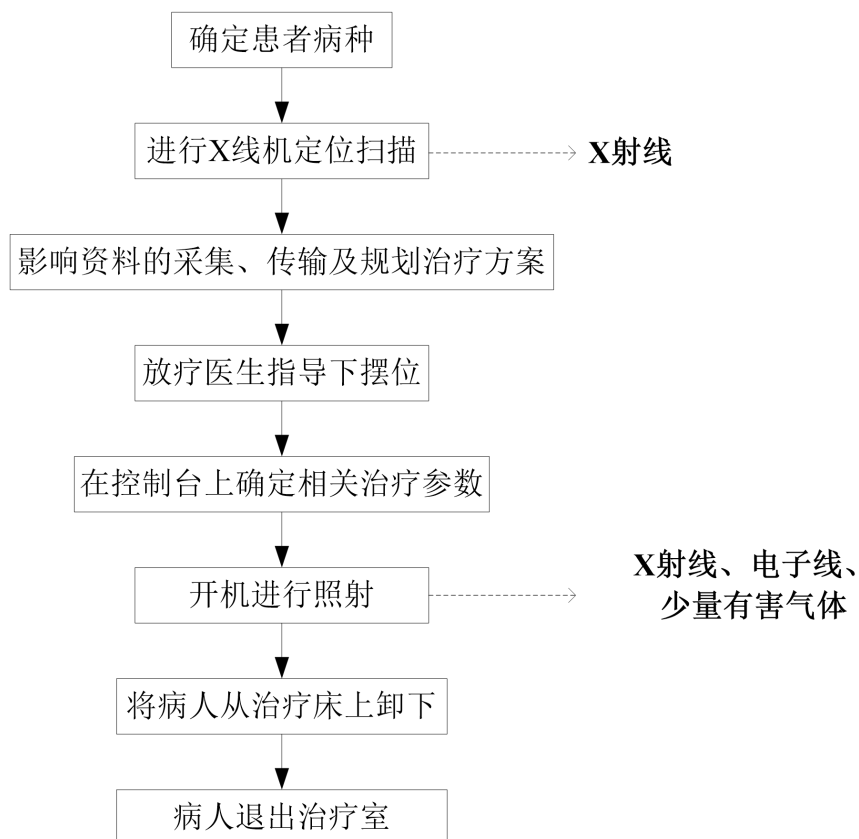


图 9-3 医用直线加速器的工艺流程及产污环节示意图

①进行定位：先通过 X 线机（使用本次建设的大孔径 CT）对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位。

②制订治疗计划：根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间。

③固定患者体位：在利用加速器进行治疗时需对患者进行定位、标记、调整照射角度及射野。

④开机治疗。

5、工作负荷

根据榆林市第一医院提供的资料，本次评价的 10MV 直线加速器全年最多治疗病人 2000 人，每治疗一个病人所需的有效出束时长约 40s~1min，全年最大有效开机时间约 33.3h。

6、直线加速器污染因子

加速器产生的辐射可分为瞬时辐射和剩余辐射。瞬时辐射指被加速的带电粒子或带电粒子与靶材料、加速器结构材料相互作用产生的 X 射线。剩余辐射是指上述辐射粒子的能量大于核反应阈能时，其与周围物质相互作用产生的感生放射性核素。瞬时辐射在加速器运行时产生，关机后即消失。剩余辐射在加速器停机后仍然存在，而且随加速器运行时间的增加而积累，随加速器关机后的时间增加而减弱。因此，产生的 X 射线、电子线是加速器污染环境的主要因子。

此外，电子线和 X 射线与空气中的氮和氧作用，会产生少量臭氧和氮氧化物等有害气体。

9.2.2¹⁹²Ir 后装机

1、工作原理

¹⁹²Ir 后装机治疗是利用手动或遥控的传动方式将一个或多个密封放射源从储源器传送到预先定好位置的施源器后进行腔内治疗的近距离放射治疗。这种方式可用于治疗人体各种腔道周围的肿瘤，因所选取核素的射线能量较低，并以射线的距离衰减效应减少对正常组织的损伤，同时也减少了操作人员接受的辐射剂量。后装治疗从传统的妇科领域扩展到能对人体各部位多肿瘤的治疗，尤其是鼻咽、支气管、肺癌、食道癌、直肠、膀胱、前列腺、乳癌、胰腺、脑部等，治疗技术涉及到腔管，腔内、组织间，插入和贴敷，术中等多种施治技术。

2、工艺流程

(1) 病人经医生诊断、治疗正当性判断后，确定需要治疗的患者与放疗科预约登记，以确定模拟定位和治疗时间。

(2) 预约病人首先在模拟定位机上进行肿瘤定位，确定肿瘤具体位置和形状，确定治疗中心。

(3) 确定肿瘤位置和形状后，物理人员根据医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统 (TPS) 制定治疗计划，该过程通常在电脑上完成。根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间。

(4) 治疗计划制定后，肿瘤病人在技术人员协助下，依据治疗计划在准备室进行施源器插入。

(5) 技术人员在治疗室内将储源器和施源器相连接后，进入操作室，确定所有安全措施到位后，启动治疗机走假源 3 次，无故障后开始走真源放射治疗，治疗结

束后真源自动复位。

(6) 照射完毕后，技术人员协助病人离开机房，为下次照射做准备。

后装治疗机工作流程图见图 9-4。

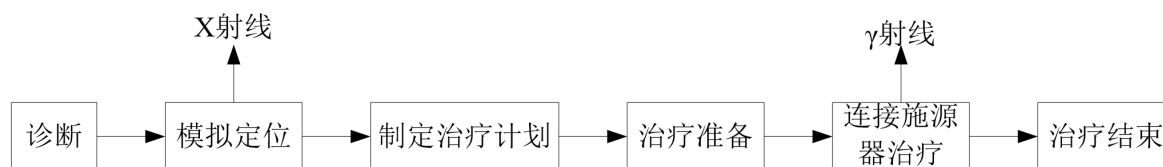


图 9-4 后装机工艺流程图

3、工作负荷

根据医院提供的资料，后装治疗机全年治疗约 800 人，每例病人治疗时间不超过 30min，则后装治疗机年工作时间不超过 400h。

4、后装机治疗系统的放射性核素

后装机治疗系统的放射性核素 ^{192}Ir 为密封源， ^{192}Ir 发射的 γ 射线具有很强的贯穿能力，能穿透屏蔽材料对周围环境构成辐射污染， β 射线的射程很短，贯穿能力很弱。因此， γ 后装机的主要污染因子是 γ 射线。

9.2.3 大孔径 CT

1、工作原理

CT 机是计算机断层 X 射线摄影术 (Computed Tomography) 的简称，它使用了精确准直的 X 射线从各种不同的离散角度扫描所关注的平面，利用探测器记录透射光束的衰减量，并经过数学运算，电子计算机处理相应数据，从而产生一个以检查层的相对衰减系数为依据的躯体横断面的影像。

2、工艺流程

大孔径 CT 机操作流程如下：

- 1) 根据照射需要对患者进行摆位，为患者作好必要的防护措施；
- 2) 医生通过控制台将病人信息输入，根据需求设定曝光参数；
- 3) 医生退出机房，检查防护门等安全防护措施是否到位；
- 4) 曝光，密切注意各仪表的显示；
- 5) 记录，关机，病人退出房间，操作结束。

3、工作负荷

配套本项目医用电子直线加速器、后装机使用的大孔径 CT 主要用于病灶检查和

定位。根据榆林市第一医院提供资料，全年最多治疗病人 2800 人，每次治疗时长最大约 1min，全年最大有效开机时间约 46.7h。

4、污染因子

本项目的大孔径 CT 利用 X 射线对人体不同组织穿透力不同的原理，寻找病灶部位、形状及体积大小并予以定位、摄影，其中摄影用 X 线机用 X 线胶片代替荧光屏，永久记录被检部位影像。医院使用的 X 射线机采用激光打印，无洗片废水及废片产生。因此，其污染因子为：在开机期间，X 射线是污染环境的主要因子。

污染源项描述

1、医用直线加速器

（1）正常工况

由直线加速器工作原理可知，加速器正常运行时的主要污染因子有 X 射线、电子线。

此外，电子线和 X 射线与空气中的氮和氧作用，会产生少量臭氧和氮氧化物等有害气体。

（2）事故工况

①射线装置发生控制系统或电器系统故障或人员疏忽将照射参数设置错误，使相关人员受到超剂量照射。

②安全警示装置发生故障，人员误入正在运行的机房造成额外误照射。

③医生在机房内为患者摆位时，控制台处操作人员误开机出束，对机房内医生造成额外误照射。

2、后装机

本项目后装机用源为 1 枚 ^{192}Ir 放射源，其 γ 射线平均能量为 0.37MeV，主要放射性污染物为 γ 射线。由后装机相关资料可知， ^{192}Ir 后装机一般均具有良好的自屏蔽措施， ^{192}Ir 放射源装于机头源罐内，源罐由外而内分别为不锈钢外壳、铅防护、钨合金防护（相当于 80mm 铅当量）。 ^{192}Ir 放射源源罐结构见图 9-5。

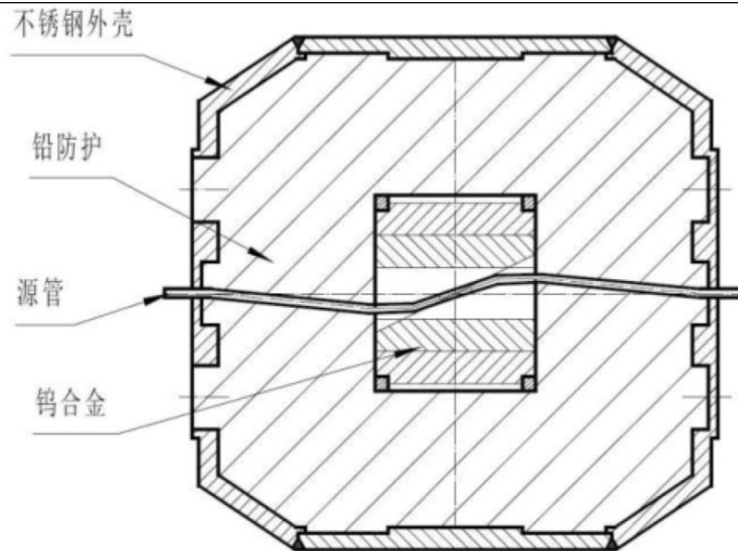


图 9-5 ^{192}Ir 放射源源罐结构示意图

^{192}Ir 密封放射源会不断自发衰变产生 γ 射线，其污染途径为：产生的 γ 射线主射线、漏射线、散射线与周边物质发生相互作用，从而对周边环境产生一定的辐射影响；除此之外，后装机 ^{192}Ir 密封源产生的 γ 射线还会与空气发生电离作用，产生少量臭氧、氮氧化物等有害气体。

根据《辐射防护手册 第一分册 辐射源与屏蔽》中表 1.11 可知，放射性核素 ^{192}Ir 半衰期为 74.02d，能谱较为复杂，主要有 3 中能量的 β 射线，分别为 0.672MeV (46%)，0.536MeV (41%)，0.240MeV (8%)； γ 射线有 4 分支较大，能量分别为 0.29595MeV (34.6%)，0.30844MeV (35.77%)，0.31649MeV (82.9%)，0.46806MeV (58%)，其主要辐射特性见表 9-2。

表 9-2 放射性核素 ^{192}Ir 的主要辐射特性参数

核素名称	半衰期	衰变方式	辐射能量 (MeV)
^{192}Ir	74.02d	β^- (95.22) EC (4.78)	β 0.672 (46%)，0.536 (41%)，0.240 (8%)； γ 0.29595 (34.6%)，0.30844 (35.77%)，0.31649 (82.9%)， 0.46806 (58%)

(1) 正常工况

由后装机工作原理以及放射源 ^{192}Ir 核素特性分析可知：

① β 射线穿透能力很弱，设备的外包装可以完全屏蔽， β 射线不能释放到环境中。 γ 射线穿透能力较强，有可能对环境产生辐射影响。

② γ 射线与空气中的氮和氧作用，会产生少量臭氧和氮氧化物等有害气体。氮氧化物产额较低，放射工作场所的非辐射危害因素主要以臭氧为主。通过通风换气可

有效降低臭氧和氮氧化物的浓度。

③放射性废气、放射性废水和放射性固废

后装机使用过程中不会产生放射性废气、放射性废水。固体废物为 ^{192}Ir 退役或废旧放射源。

从上述内容看， ^{192}Ir 放射源正常使用过程中产生的放射性污染物为 γ 射线，其污染途径为直接外照射。同时产生废旧 ^{192}Ir 放射源、少量臭氧和氮氧化物。

(2) 事故工况污染源项分析

事故主要包括以下情况：

①在使用过程中屏蔽储源体（屏蔽装置）发生损坏导致源不能被屏蔽。

②因工作人员操作不当或出现设备故障，造成操作人员受到强辐射照射。

③后装机处于运行状态时，因故障，发生门机联锁装置失效，导致人员误入处于运行状态的机房机房，受到不必要的辐射照射。

④由于管理不善，源使用过程中发生被盗、丢失等事故，而引发环境辐射污染。

⑤机器故障及卡源等事故。

前四种情况的发生会导致 γ 射线漏出，使周围的 γ 辐射水平增高，从而使工作人员和公众受到较大的照射。

4、大孔径 CT

本项目 CT 射线装置产生的放射性污染物为 X 射线。除此之外，射线装置运行时产生的 X 射线还可能与空气发生电离作用，从而产生少量臭氧、氮氧化物等有害气体，进而影响周边环境空气质量。

由医用 X 射线装置工作原理可知，X 射线是随射线装置的开、关而产生、消失的。除后装机外，本项目所应用的 X 射线装置均为非含源射线装置，射线装置运行过程中不会产生 γ 射线。只有在开机并处于出束状态时，才会有 X 射线产生，此过程中不产生放射性废气、废液、废水。

5、项目运营期产排污小结

综上分析，本项目辐射设备运营期污染因子见下表 9-3。

表 9-3 本项目污染因子统计表

设备名称	主要污染因子
10MV 直线加速器	①电离污染：主要是 X 射线、电子线、 γ 射线。②有害气体：臭氧、氮氧化物。
大孔径 CT	①电离污染：主要是 X 射线。②有害气体：少量臭氧、氮氧化物。
后装机	①电离污染：主要是 γ 射线。②有害气体：少量臭氧、氮氧化物。 ③放射性固废： ^{192}Ir 退役或废旧放射源。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

10.1 项目布局合理性分析

1、选址和布局

根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中要求“治疗室选址、场所布局和防护设计应符合 GB18871 的要求，保障职业场所和周围环境安全”，《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》（GBZ165-2012）中要求“CT 机房的设置应充分考虑邻室及周围场所的人员驻留条件，一般应设置在建筑物的一端”。

本项目后装机、大孔径 CT 均位于原门诊楼肿瘤诊疗中心负一层，直线加速器位于肿瘤诊疗中心负二层；各机房与周围用专用防护墙壁隔开，有专门的通道与外面相连，无关人流相对较少，减少对公众的辐射影响。项目的射线装置机房及密封源储存的选址均位于建筑物一端，人流不密集角落里，便于机房的辐射防护与安全，能更好的保护病人及医院工作人员的安全，基本满足上述标准的选址要求。

综上，项目放射诊疗区布置于人流不密集区域，能更好的保护病人及医院工作人员的安全。从环境保护角度分析，项目选址和工作场所布局合理。

2、分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），辐射工作场所应分为控制区及监督区，把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域定为监督区。

项目拟对辐射工作场所进行分区设置。同时根据《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017）：“应将治疗室设置为控制区，在控制区进出口设立醒目的符合 GB18871 规定的辐射警告标志，严格控制非相关人员进入控制区；将控制区周围的区域和场所设置为监督区，应定期对这些区域进行监督和评价”的要求，评价对项目分区如下：

①控制区：各机房（含迷道）内部，以防护门和机房屏蔽墙为界。本项目控制区主要为直线加速器治疗室、后装机治疗室、大孔径 CT 扫描间。针对控制区，医院拟采取一系列的放射防护与安全措施，设置门-机联锁装置、工作状态指示灯及辐射警示标志等设施，严格限制人员随意进入控制区，在正常诊疗的工作过程中，控制区内不得有无关人员滞留，保障该区的辐射安全。

②监督区：各机房防护门和屏蔽墙外相邻区域以及机房正上方、正下方对应区

域划为监督区。对该区不采取专门的防护手段安全措施，但要定期检查其辐射剂量率。

本项目负一层分区图见图 10-1。



图 10-1 肿瘤诊疗中心负一层分区图

本项目负二层分区图 10-2，直线加速器机房南侧为高能机机房（即直线加速器机房），亦属于医院现有的控制区。根据建设单位提供的年度监督监测数据，该高能机房屏蔽体表面的辐射水平均符合《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）和《电离辐射防护和辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关要求，故不对本项目造成影响。

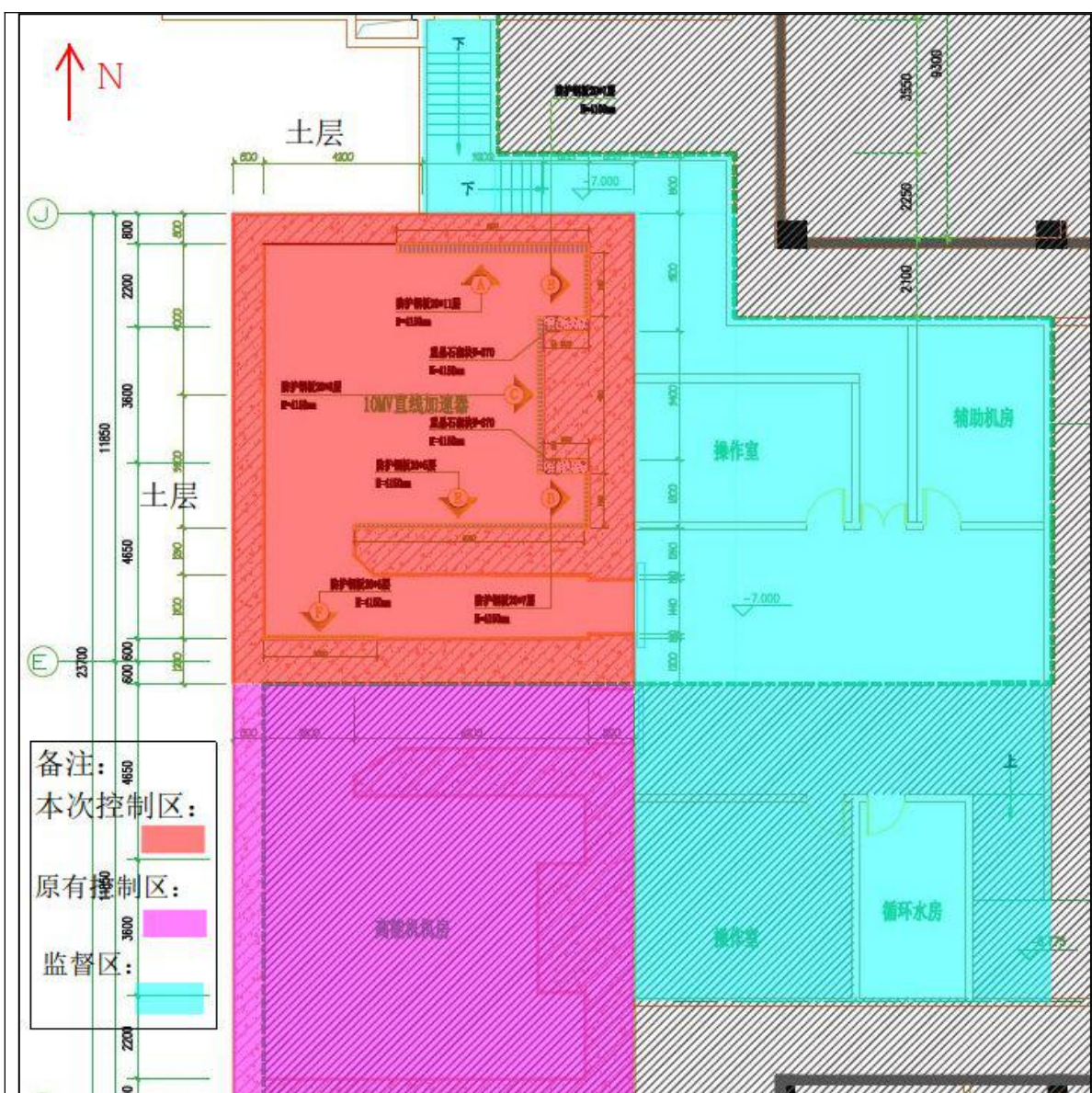


图 10-2 本项目直线加速器分区图

10.2 直线加速器辐射安全与防护

1、设备安全分析

根据直线加速器工作原理可知，设备在未通电开机运行时，设备不会产生 X 射线，不会对环境产生辐射影响。因此，设备自身安全性较好。

2、机房拟采取的辐射安全防护措施

根据设计资料及建设单位提供的资料，设备自带的辐射防护措施和医院拟采取的辐射防护措施如下：

(1) 直线加速器治疗室设置迷道，其屏蔽体设计情况见表 10-1。

表 10-1 直线加速器机房屏蔽设计一览表

机房	屏蔽材料及墙体设计厚度	机房面积
10MV 直线加速器机房	①西墙：800mm 钢筋混凝土+土层，其西侧为土层，无建筑。 ②东墙：主屏蔽墙采用 2400mm 钢筋混凝土+160mm 厚（20mm×8 层）防护钢板，宽度 4.14m。次屏蔽采取 1200mm 钢筋混凝土+140mm 厚（20mm×7 层）防护钢板。 ③北墙：屏蔽墙体东半部为 800mm 钢筋混凝土+220mm 厚（20mm×11 层）防护钢板，西半部为 800mm 钢筋混凝土+土层（墙外无建筑）。 ④南墙：迷路内墙为 1250mm 钢筋混凝土+100mm 厚（20mm×5 层）防护钢板，迷路外墙为 1200mm 钢筋混凝土，迷路进入机房处增加 3m 宽的 100mm 厚（20mm×5 层）防护钢板。 ⑤房顶：主屏蔽采用 300mm 钢筋混凝土+320mm 厚（20mm×16 层）防护钢板，主屏蔽宽度 4.14m，次屏蔽采用 300mm 钢筋混凝土。房顶上方为土层。 ⑥铅门：采取 16mmPb 铅防护门。	89.87m ² （含迷道）
备注：混凝土密度不低于 2.35g/cm³，防护钢板密度不低于 7.85g/cm³。		

机房按照上述设计建设后，通过表 11 章节预测分析可知，屏蔽体外 30cm 处（人能到达位置）周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，满足辐射防护的要求。

（2）防护门生产、安装由有生产资质的厂家承担，其搭接长度不小于缝隙的 10 倍。防护门上设置永久性辐射警示标志，采用电动防护门（应急时可手动），治疗室入口处上方应安装醒目的电离辐射警示标志及照射状态指示灯。治疗室内设置紧急开门按钮。

（3）机房电缆管线采用地埋式水平斜管方式穿越屏蔽体，管线上方与地平面齐高，剂量测量孔直径分别为 40mm 和 80mmPVC 管与射线相背方向设置。电缆管线跟混凝土浇筑同时进行，一次到位。电缆管竖直方向和水平方向均与地面形成 45° 角度斜穿屏蔽墙，并在管道的入口或出口设有一定厚度的屏蔽盖板。

（4）在加速器机房东侧设置操作间，在机房屋顶设置 5 个进风口，于机房内东侧距地面 30cm 处设置 2 个排风口，西侧设置 1 个排风口，废气采取机械排风，设计通风换气次数为 6 次/h，通风量为 2200m³/h。通过专用的直线加速器排风管道经预留烟道引至所在建筑楼顶排放。进、排风管道均采取了迷宫式结构的补偿措施（埋铅管），同时进、排风管道采取错层布置，因此该排风系统不影响墙壁的屏蔽防护能力。通风系统布置示意图见图 10-3。

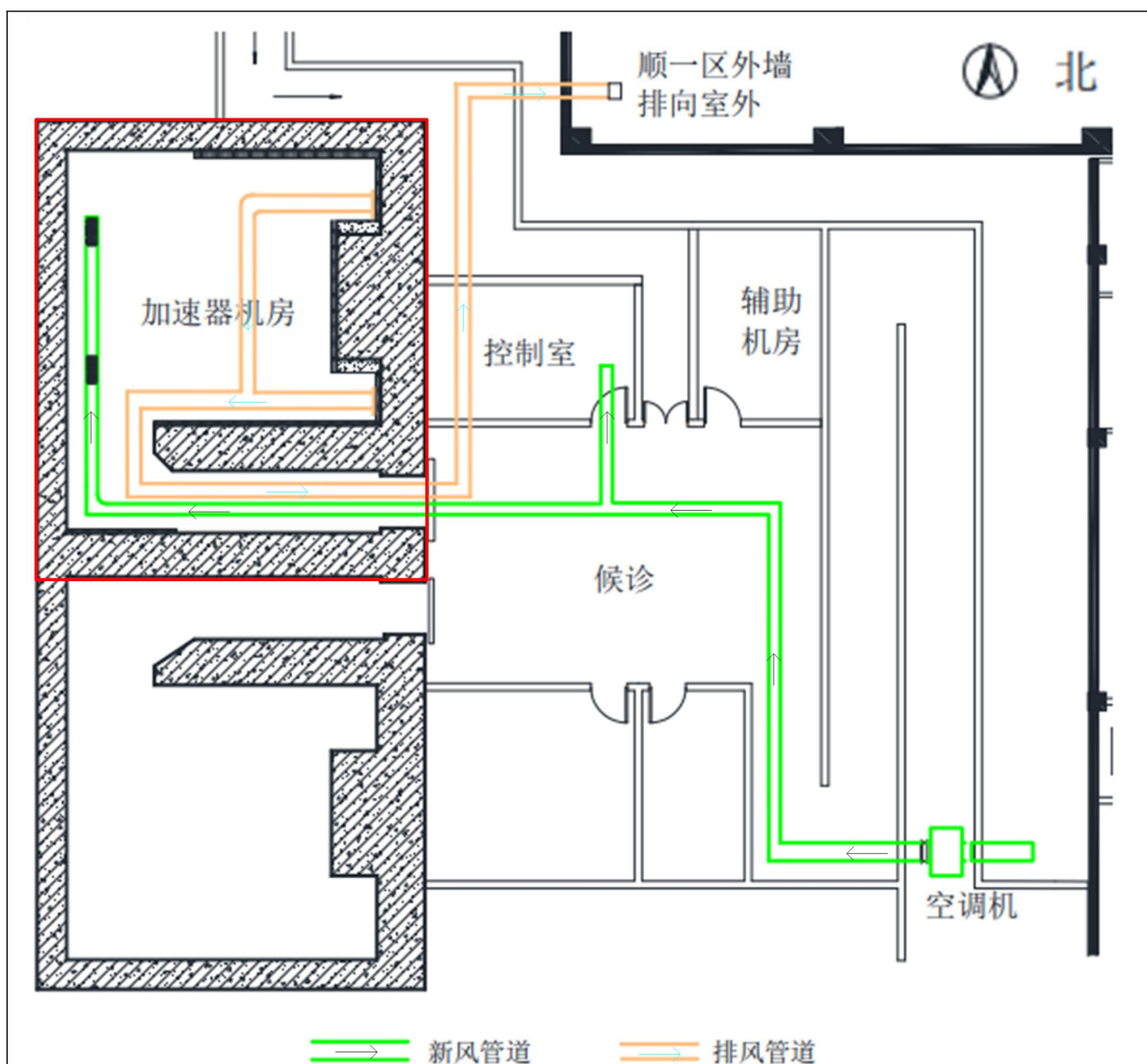


图 10-3 直线加速器机房通风布局示意图

（5）治疗室和操作间之间安装监视和对讲设备，能完全观察机房内部。

（6）机房有足够的内空高度，净空 4.1m，能满足加速器机身高度、滑轨、进风管道、吊顶（含灯具、进风口、空调室内机）等叠加空间尺寸。

（7）固定式剂量警报装置：加速器机房内设置固定式剂量报警装置，仪器探头安装在迷路转角处，仪表指示仪装在控制室内。对监测点进行实时剂量率、累积剂量监测和报警。实时剂量率、累积剂量监测值同时显示在主机面板上，实时剂量率、累积剂量的“报警阈值”可通过面板上的按键进行修改。仪器有声光报警，以警示现场工作人员，确保工作人员安全。

（8）直线加速器机房设置多重联锁装置，以保护人员和设备安全，防止意外事故。门机联锁：采用电动、手动一体化防护门，与加速器启动电路实行了门机联锁

方式，即防护门未关闭之前，加速器无法启动。灯机联锁：为减少公众人员受到不必要的剂量，防护门安装灯机联锁系统，在设备出束时灯亮警示，以预防和控制潜在的照射。系统联锁：当控制台计算机故障、加速管真空故障等加速器会自动出现系统联锁，不能发出射线。双剂量联锁：按照《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）的要求，设置双剂量联锁以及其它联锁。

（9）控制台和直线加速器机房内分别设置紧急停机开关，机房内在迷道入口、机头旁、迷道出口分别设置紧急停机开关。紧急停机开关为红色按钮式开关，易于辨认，在紧急情况下，便于机房和操作间内的人员及时终止照射。控制台配置带有时间显示的照射控制计时器，并独立于其他任何控制照射终止系统。当照射中断或终止后，必须保留计时器读数，必须将计时器复零后，才能启动下一次照射。

（10）控制台能够显示辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、吸收剂量率、治疗方式、楔形过滤器类型及规格等照射参数预选值。照射启动必须与控制台显示的照射参数预选值联锁，控制台选择各类照射参数之前，照射不得启动。

（11）使用计算机控制系统的加速器软件和硬件控制程序必须加密，未经允许不得存取或修改；用于监视联锁或作为测量线路、控制线路一部分的计算机一旦发生故障，必须终止照射。

（12）专用钥匙控制，只有通过专用钥匙才能使加速器出射线。钥匙由专人保管。放疗技术员离开操作间进入机房时，拔出专用钥匙，随身携带，以防他人误操作而发出射线。

本项目直线加速器机房内的安全设施布局图见附图 4。

3、安全操作要求

（1）操作人员必须遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，禁止任意去除安全联锁，严禁在去除可能导致人员伤亡的安全联锁的情况下开机。

（2）放射工作人员在工作时，必须佩戴个人剂量计和剂量报警仪。治疗期间必须有两名操作人员值班，认真做好当班记录，严格执行交接班制度。

（3）严禁操作人员擅自离开岗位，密切注视控制台仪表及患者状况，发现异常及时处理。

（4）操作人员根据病人的不同部位和病情，选择使用合适照射条件和照射野。

（5）治疗期间，除接受治疗的患者外，治疗室内不得有其他人员。

(6) 必须防止各类事故, 万一发生意外, 立即停止照射, 及时将患者移出辐射野, 并注意保护现场, 便于正确估算患者受照剂量, 作出合理评价。

(7) 只有通过专用钥匙才能使加速器出射线, 钥匙由专人保管。操作人员离开操作间进入机房时, 拔出专用钥匙, 随身携带, 以防他人误操作而发出射线。

10.3 后装机辐射安全与防护

1、设备安全防护

(1) 后装治疗设备的控制系统, 必须能准确地控制照射条件, 有放射源启动、传输、驻留及返回工作贮源器的源位显示与治疗日期、通道、照射总时间及倒计时时间的显示。

(2) 后装治疗设备控制系统有安全锁等多重保护和联锁装置。必须能防止由于计时器控制、放射源传输系统失效, 源通道或控制程序错误以及放射源连接脱落等电气、机械发生故障或发生误操作的条件下造成对患者的误照射。严禁在去掉保护与联锁控制装置的条件下运行。

(3) 实施治疗期间, 当发生停电、卡源或意外中断照射时, 放射源必须能自动返回工作贮源器。必须同时显示和记录已照射的时间和剂量, 直到下一次照射开始, 同时发出声光报警信号。当自动回源装置功能失效时, 必须有手动回源措施进行应急处理。

(4) 在控制台上, 必须能通过 γ 射线监测仪器显示放射源由工作贮源器内输出和返回贮存位置的状态。控制照射时间的计时误差必须小于 1%。

(5) 必须在生产厂家给出的放射源最大安全传输次数内, 不发生放射源脱落、卡源等故障。放射治疗机随机文件中必须给出放射源从贮源器到施源器的最大传输时间。

2、机房拟采取的辐射安全防护措施

根据设计资料及建设单位提供的资料, 设备自带的辐射防护措施和医院拟采取的辐射防护措施如下:

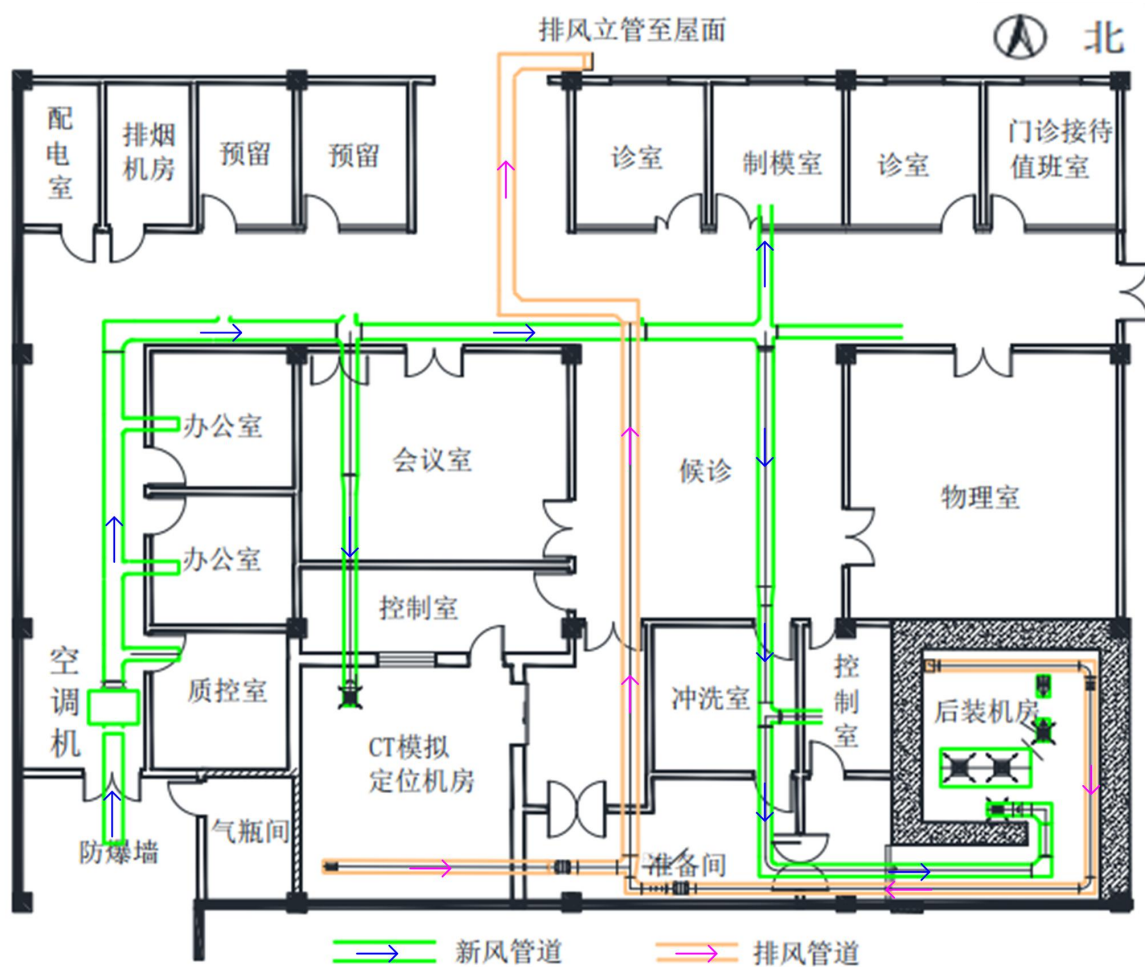
(1) 后装机治疗室屏蔽体设计情况见表 10-2。

表 10-2 后装机治疗室屏蔽设计一览表

机房	屏蔽材料及墙体设计厚度	机房面积
后装机治疗室	①北侧、东侧、西侧屏蔽墙: 采用 800mm 钢筋混凝土。 ②南侧: 迷路内墙为 600mm 钢筋混凝土、迷路外墙为 250mm 钢筋混凝土+土层(墙外无建筑)。 ③房顶: 采用 800mm 钢筋混凝土。	21.16m ² (不含迷道)

	④地面：采取 60mm 厚混凝土+20mm 水泥砂浆+3mm 环氧自流平水泥砂浆。 ⑤铅门：采取 8mmPb。	
备注：混凝土密度不低于 2.35g/cm³。 治疗室按照上述设计建设后，通过表 11 章节预测分析可知，治疗室屏蔽体外 30cm 处（人能到达位置）周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，满足辐射防护的要求。 （2）治疗室与操作间分开设置。治疗室内部净使用面积 21.16m²（不含迷道），满足标准规定不小于 20m² 的要求。 （3）治疗室入口采用了迷路设计，设置门机联锁。治疗室迷道外入口、控制台旁设置紧急开门按钮。 （4）控制台和治疗室内分别安装紧急停机开关，控制台的紧急开关位于操作台旁，机房内的紧急开关设置在机头旁、迷道入口。紧急停机开关为红色按钮式开关，并带有中文标示，易于辨认，按下后不能自动复位。在紧急情况下，便于机房和操作间内的人员及时终止照射。 （5）应配备辐射监测设备或便携式测量设备，并具有报警功能。在治疗室迷道出、入口处设置固定式辐射剂量监测仪并应有报警功能，其显示单元应设置在控制室内或机房门附近，治疗室应配备有合适的储源容器、长柄镊子等应急设备，治疗室内合适位置张贴应急指示。 （6）穿越防护墙的导线、导管不得影响其屏蔽防护效果。机房水电管线采用“Z”型向下穿越屏蔽墙体。预埋管的管道必须跟混凝土浇筑同时进行，一次到位。 （7）治疗室内安装摄像设备视频监视器与对讲机，能完全观察和联系机房。工作人员在操作间内便可清晰地观察到患者的治疗情况，如发现患者不适、位置移动、部件脱落、机架与治疗床发生碰撞等异常情况，可及时采取紧急措施。机房与操作间须设置对讲设备，便于医务人员与患者之间进行交流。 （8）治疗期间，发生停电、卡源或意外中断照射时，放射源必须能自动返回工作贮源器，并发出声光报警信号。此外，还应设置手动回源措施。 （9）治疗室外防护门上方设置工作状态指示灯，控制区进出口设置醒目的电离辐射警示标志。治疗室防护门设置手动开门装置。 （10）后装机治疗室采用机械通风，出风口设置于距地面 30cm 处，分别位于机房西北角和东北角，外接抽风机，在屋顶设置 6 个进风口，进出风口为迷宫式结构，设计机房通风换气 6 次/h，新风量和排风量均为 540m³/h，管线穿墙处采用“Z”型		

设计，不削弱机房的防护屏蔽能力。通风系统布置示意图见图 10-4。



(11) 设置放射源在线监控系统。

本项目后装机机房内的安全设施布局图见附图 5。

3、安全操作要求

(1) 治疗医生根据临床检查结果，制订治疗计划，由患者所患疾病的性质、部位和大小来确定照射剂量和照射时间。

(2) 机房内安装剂量监测设备、剂量报警设备，能够在操作间随时监控剂量监测值和超剂量报警情况。

(3) 操作人员必须遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，禁止任意去除安全联锁，在防护门未关闭时，放射源不能出来。机房内设置紧急停机、开门按钮。安装手动应急开门装置，以备停电时使用。

(4) 设备安装后使用前，必须要求设备供货商提供满足标准要求的设备表面剂

量监测报告。

(5) 加强放射工作人员的培训，并佩戴个人剂量计，进出机房佩戴报警仪，做好放射源的监控与防盗。

(6) 实施治疗期间，当发生停电、卡源或意外中断照射时，放射源必须能够返回工作贮源器，必须同时显示和记录已照射的时间和剂量，直到下一次照射开始，同时应发出声光报警信号。自动回源装置失效时，必须有手动回源措施进行应急处理。

(7) 依据《陕西省放射性污染防治条例》第二十条、第二十二条相关规定：建设单位应对后装机放射源建立在线监控系统或者定位跟踪装置，并与环保行政主管部门的监控平台联网，保证监控设备的正常运行和信息传输；若后装机治疗室场所停止使用，应进行退役，废放射源交由放射源生产厂家进行回收。

10.4 大孔径 CT 辐射安全与防护

1、机房的防护

(1) 项目大孔径 CT 机房北墙、东墙、西墙采用 370mm 实心砖墙进行防护，南墙为 250mm 混凝土，顶部为 180mm 钢筋混凝土+2mmPb 防护铅板，地面采取 60mm 厚混凝土+20mm 水泥砂浆+3mm 环氧自流平水泥砂浆，地下无建筑，铅门、铅窗均采用 3mm 铅当量，经核算满足墙体防护厚度要求。

机房在建设时保证施工质量，防护门和观察窗的生产应由有生产资质的厂家承担，其搭接长度不小于缝隙的 10 倍。机房内建设的穿越防护墙的导线、导管等应采用“U”型，不得影响墙体的屏蔽防护效果。

(2) 机房内设置有对讲装置，观察窗或摄像监控装置。

(3) 机房门外设置有电离辐射警告标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯，灯箱处设有警示语句；机房门设置有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相同的门能有效联动。

(4) 患者和受检者不在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪护不得滞留在机房内。

(5) X 射线设备根据工作内容，现场应配备工作人员、患者和受检者防护用品与辅助防护设施，其数量满足开展工作的需要。

(6) 机房内保持良好的通风换气，设置 1 个新风口、1 个排风口，新风量和排

风量均为 540m³/h，设计换气次数 6 次/h。

2、安全操作及管理措施

(1) 辐射工作人员应熟练掌握业务技术，接受放射防护和有关法律法规知识培训。

(2) 根据不同检查类型和需要，选择使用合适的设备、照射条件和照射野。

(3) 工作人员在机房内操作时必须穿铅衣，戴铅眼镜、铅手套、铅围脖、铅帽等防护用品，尽量减少个人受照剂量，并佩戴个人剂量计，采取加密监控。

(4) 合理选择各种操作参数，在满足医疗诊断的条件下，应确保在达到预期诊断目标时，患者和受检者所受到的照射剂量最低。

10.5 警示标识及辐射防护用品

根据《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013），本项目拟设置的警示灯、警示标志样例见下图所示。



图 10-3 警示设施样例图

根据《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）和《医用诊断 X 射线个人防护材料及用品标准》（GBZ176-2006）的规定，建设单位应为受检者和陪检者配备相应的个人防护用品，主要包括铅衣、铅围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子等。本项目拟配备的个人防护用品见下表。

表 10-3 CT 机房个人防护用品配备一览表

防护用品名称	数量	铅当量 (mmPb)	使用人员		图例
			受检者	陪检者	
包裹式铅长巾	2 件	0.5	√	—	
铅橡胶颈套	2 个	0.25	√	—	
铅橡胶帽子	2 顶	0.25	√	—	
包裹式铅长巾（儿童）	1 件	0.5	√	—	
铅橡胶颈套（儿童）	1 个	0.5	√	—	
铅橡胶帽子（儿童）	1 顶	0.5	√	—	
铅衣	1 件	0.25	—	√	

注：“—”表示不需要。

三废的治理（三废治理的设施、方案、预期效果；有废旧放射源的给出处理方案。）

1、废气

本项目直线加速器、后装机、大孔径 CT 正常使用过程中，无放射性废气产生。

直线加速器运行过程，辐射会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体，相比之下臭氧的危害较氮氧化物大，其产额高，毒性大，氮氧化物 NO_x 产额为 O_3 的 1/3。本项目评价的直线加速器，在加速器工作时考虑感生放射性问题，高能电子束与靶物质相互作用而产生的韧致辐射，与空气等物质作用形成放射性核，而会发生光核反应。本项目直线加速器治疗室设计采用机械通风换气次数每小时 6 次，能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。通过专用的直线加速器排风管道经预留烟道引至所在建筑楼顶排放。进、排风管道均采取了迷宫式结构的补偿措施（埋铅管），同时进、排风管道采取错层布置，因此该排风系统不影响墙壁的屏蔽防护能力。

大孔径 CT 产生的 X 射线与空气作用，可以使气体分子或原子电离、激发，产生臭氧和氮氧化物，污染工作场所。输出 X 射线输出功率低，剂量小，产生臭氧和氮氧化物量极少，一般采用空调可满足 X 射线机房通风换气需要。

后装机工作时， γ 射线与空气中的氮和氧作用，会产生少量臭氧和氮氧化物等有害气体。氮氧化物产额较低，放射工作场所的非辐射危害因素主要以臭氧为主。通过通风换气可有效降低臭氧和氮氧化物的浓度。

在工作中要保证通风设施完好和正常工作，在此前提下臭氧和氮氧化物等有害气体将不会对人员及环境产生危害。

2、固废

本项目运行时产生的放射性固体废物主要为后装机内 ^{192}Ir 退役或废旧放射源，退役或废旧放射源均由生产厂家回收处置。

此外，本项目的医生、病人及家属产生少量的医疗垃圾及生活垃圾，其中医疗垃圾依托医院的医疗垃圾暂存间暂存后交由有资质的单位处理，生活垃圾与医院其它生活垃圾一起交由市政环卫部门处理。

3、废水

本项目直线加速器、后装机、大孔径 CT 正常使用过程中，无放射性废水产生。

本项目主要产生的废水来源于医生、病人及家属产生少量的废水，依托医院废

水处理设施处理达标后排入市政管网。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目改造直线加速器机房一座，扩建后装机机房一座、大孔径 CT 机房一座，配套建设相应的辅助用房。本项目建设过程需进行房屋改造、扩建机房的建设、室内装修和设备安装。本项目施工期主要污染为施工扬尘、噪声及固废等污染。

1、声环境影响分析

本项目施工期间噪声主要来源于机房改造、扩建机房的建设、房屋装修、管线埋设等施工过程，此外建筑材料及设备运输车辆会产生交通噪声影响。由于本工程位于地下室内，且施工期间产生的噪声具有阶段性、临时性，因此，只要施工单位采取有效的噪声污染防治措施，本项目施工期间对周围环境产生的影响可减小到最低程度。

为较小施工期间对周围声环境的影响，环评要求施工单位加强管理，尽可能选取噪声低、振动小、能耗小的施工机械和设备；场外运输作业尽量安排在白天进行，车辆行经声环境敏感地段时必须限速、禁鸣；保持设备处于正常工况，减小噪声的排放；合理安排施工时间，在采取有效的噪声污染防治措施后，本项目施工期噪声对周围环境影响可接受。

2、大气环境影响分析

施工期因土石方开挖、出渣、装卸、建筑材料运输等施工活动产生的二次扬尘在正常风况下，对施工区域周围 50~100m 范围以外的贡献值符合环境空气质量二级标准，但在大风（>5 级）情况下，施工粉尘对施工区域周围 100~300m 范围以外的 TSP 才能达二级标准。但本工程在室内施工，施工期较短，对周围敏感点的影响有限，在可接受的范围内。

为减小施工期间扬尘对周围环境的影响，施工单位应做到以下几点：加强施工现场运输车辆管理，运输粉状物料及渣土的车辆出施工场地时进行冲洗；对机房改造、新机房的建设、辅助用房土石方开挖等产生的粉尘，应进行适当的洒水抑尘处理。

3、水环境影响分析

本项目施工期间废水主要为施工人员产生的少量生活污水及混凝土养护废水，少量养护废水经沉砂池沉降后回用于抑尘。施工人员生活污水依托医院的排水系统

和污水处理设施，处理达标后进入市政污水管网。采取以上措施后，在施工中可大量减少地表水污染物，对环境的影响是可以接受的。

4、固体废物影响分析

施工期产生的固体废物主要为建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾。

施工期产生的固体废物应妥善处理，无回收价值的建筑废料统一收集后，运输至合法堆场堆放。生活垃圾经统一收集后交由市政环卫部门处理。对固体废物从收集、清运到弃置实现严格的全过程管理。

因此，本项目应合理安排施工时间及施工场地秩序，对施工场地进行封闭，避免因本项目建设影响院内正常医疗活动及工作人员办公。通过采取相应的污染防治措施后，本项目对外环境的影响较小。

运行阶段对环境的影响

一、直线加速器

1、直线加速器机房屏蔽设计

直线加速器机房位于原住院楼西侧负二层，楼上为医院室外，地下无建筑。加速器机房采用钢筋混凝土（密度为 2.35g/cm^3 ）结构+防护钢板进行屏蔽，加速器在机房内南北向安放，等中心位于机房中心；机房内空间长 7.18m（北墙与迷路内墙之间的距离），宽 7.24m（东西墙主屏蔽区表面之间的距离），高 4.1m（机房顶板表面至地面的距离）；迷路位于南侧，为直迷路，有用线束不向迷路照射；东、西墙为主屏蔽墙，南、北墙为侧屏蔽墙。东墙主屏蔽区内凸，主屏蔽区采用 2400mm 钢筋混凝土+160mm 厚（20mm×8 层）防护钢板、宽 4.4m，次屏蔽区采取 1200mm 钢筋混凝土+140mm 厚（20mm×7 层）防护钢板，东墙外为控制室和消防通道；西墙外为土层无建筑，不分主屏蔽区、次屏蔽区，均采取 800mm 钢筋混凝土；北墙东半部为 800mm 钢筋混凝土+220mm 厚（20mm×11 层）防护钢板，西半部为 800mm 钢筋混凝土+土层（墙外无建筑），墙外东半部为消防通道，西半部无建筑；南侧迷路内墙为 1250mm 钢筋混凝土+100mm 厚（20mm×5 层）防护钢板，迷路外墙为 1200mm 钢筋混凝土，迷路进入机房处增加 3m 宽的 100mm 厚（20mm×5 层）防护钢板，南墙外为高能机机房；屋顶主屏蔽采用 300mm 钢筋混凝土+320mm 厚（20mm×16 层）防护钢板，主屏蔽宽度 4.14m，次屏蔽采用 300mm 钢筋混凝土，屋顶上方为 2.3m 厚

的土层，土层上方为室外地面；地下无建筑，为土层。

直线加速器机房的面积情况见表 11-1 所示。

表 11-1 本项目直线加速器机房面积统计情况

机房	机房面积（m ² ）	标准要求（m ² ）	是否满足要求
直线加速器机房	89.87	45	是

根据上表可是，拟建项目直线加速器机房面积可满足相关标准要求。

由于直线加速器机房西墙外无建筑，故不对西侧关注点 b 进行防护效能核算。
本项目 10MV 加速器机房各侧墙体关注点及屋顶关注点见图 11-1 和图 11-2 所示。

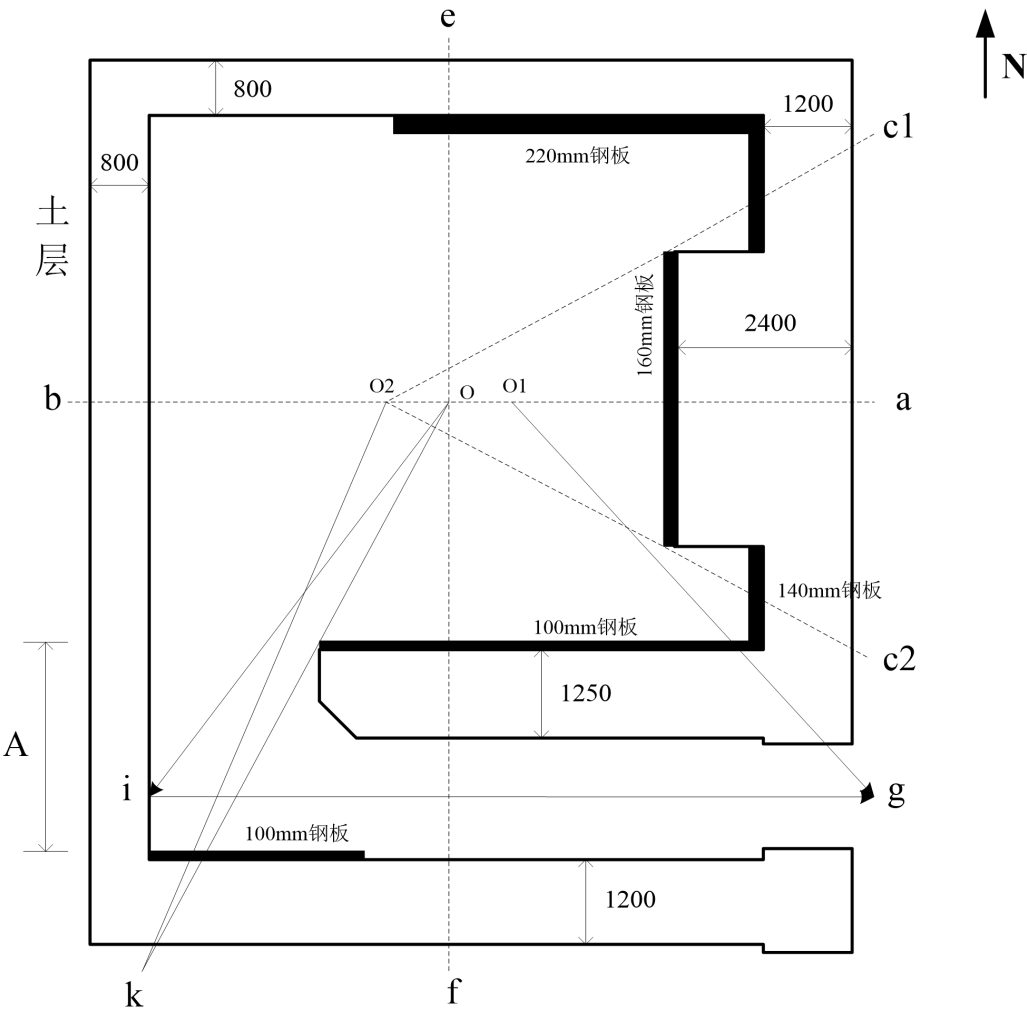


图 11-1 10MV 直线加速器机房各侧墙体关注点示意图

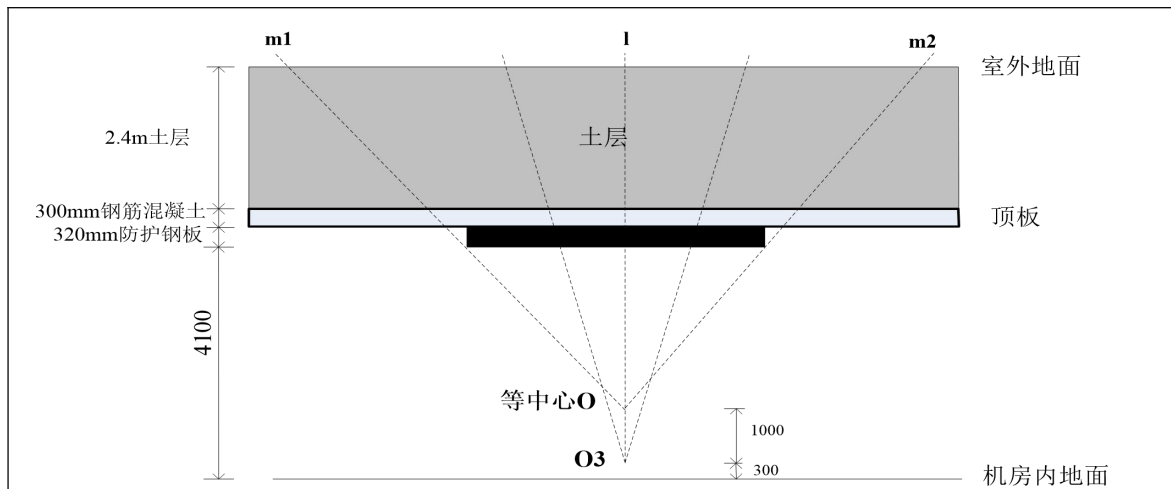


图 11-2 10MV 直线加速器机房屋顶关注点示意图

2、直线加速器机房的防护效能计算

按照设置的关注点，分别计算加速器有用线束主屏蔽区宽度是否满足要求，计算加速器有用线束主屏蔽区、侧屏蔽墙、与主屏蔽区相连的次屏蔽区的剂量率水平。

（1）有用线束主屏蔽区宽度核算

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.2-2011）的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度。

$$Y_p = 2[(a + SAD) \cdot \tan \theta + 0.3] \quad (\text{式 1})$$

式中： Y_p —机房有用线束主屏蔽区的宽度，m。

SAD—源轴距，m。

θ —治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半。

a —等中心点至“墙”的距离，m。当主屏蔽墙向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽区相连的次屏蔽墙（或顶）的内表面；当主屏蔽区向机房外凸时，“墙”指主屏蔽区墙（或顶）的外表面。

将各参数带入（式 1），得出本项目的主屏蔽宽度核算结果并评价如表 11-2。

表 11-2 主屏蔽区域宽度设计评价表

10MV 直线加速器	东墙主屏蔽区	房顶主屏蔽区
a (m)	3.1	2.8
SAD (m)	1	1
θ	14°	14°
Y_p (m)	2.7	2.5
实际设计宽度 (m)	4.14	4.14
评价结果	满足	满足

(2) 主屏蔽点效果预测 (关注点: a 点、1 点)

①射线路径 (射线类型)

O₂~a (主射线)、O₃~1 (主射线)

②计算模式及参数选择

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011) 的相关公式计算有用线束主屏蔽核算, 在给定的屏蔽物质厚度 X (cm) 时, 首先按照公式 (2) 计算有效厚度 X_e (cm)。再按照公式 (4) 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B, 最后按照公式 (6) 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}$ (μSv/h)。

$$X_e = X / \cos \theta = X \bullet \sec \theta \quad (\text{式 } 2)$$

$$X = X_e \bullet \cos \theta \quad (\text{式 } 3)$$

式中: X—设计屏蔽厚度, cm。

θ—倾斜角。

X_e—有效屏蔽厚度, cm。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (\text{式 } 4)$$

$$X_e = TVL \bullet \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad (\text{式 } 5)$$

式中: B—辐射屏蔽透射因子;

TVL₁ (cm) 和 TVL (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度, 当未指明 TVL₁ 时, TVL₁=TVL。可根据加速器 X 射线能量查 GBZ/T201.2-2011 的附录 B 表 B.1。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \bullet f}{R^2} \bullet B \quad (\text{式 } 6)$$

$$B = \frac{\dot{H}_e \bullet R^2}{\dot{H}_0 \bullet f} \quad (\text{式 } 7)$$

式中: $\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最

高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ （以 $\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{min}$ 为单位的值乘以 6×10^7 ）。本项目 10MV 直线加速器的最大剂量率为 $2400\text{cGy}/\text{min}$ ，本评价取最高剂量率 $2400\text{cGy}/\text{min}=1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ 进行评价。

R —靶点至参考点的距离， m 。

f —对有用线束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比为 10^{-3} （即 0.001）。

$\dot{H}_c$ —剂量控制限值， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

③预测计算结果

将各个参数代入，得出相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）见下表。

表 11-3 主屏蔽区屏蔽效果计算表

关注点		东墙主屏蔽区（a 点）	房顶主屏蔽（1 点）
X（cm）	设计屏蔽	2400mm 钢筋混凝土+160mm 厚（20mm×8 层）防护钢板	300mm 钢筋混凝土+320mm 厚（20mm×16 层）防护钢板+2.3m 土层
	等效混凝土厚度	293.8cm 钢筋混凝土	274.6cm 钢筋混凝土
θ		0°	0°
X_e （cm）		293.8	274.6
TVL（cm）		37	37
TVL_1 （cm）		41	41
B		1.47×10^{-8}	4.86×10^{-8}
R （m）		6.86	7.12
$\dot{H}_0$ （ $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ）		1.44×10^9	1.44×10^9
f		1	1
$\dot{H}$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）		0.450	1.380
$\dot{H}_c$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）		2.5	2.5
评价结果		满足	满足

注：由于直线加速器机房西墙外无建筑，故不对西侧关注点 b 进行防护效能核算。查 NCRP No.151 可知，X 射线能量为 10MV 时，有用线束在钢板中的什值层厚度： $\text{TVL}_1=\text{TVL}=11\text{cm}$ ，参照《辐射防护手册（第一分册）》计算实例，将防护钢板等效成混凝土厚度。

（3）侧屏蔽墙效果预测（关注点：e 点、k 点）

①射线路径（射线类型）

O~e（泄漏射线）、O~k（泄漏射线）

②计算模式及参数选择

该区考虑泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区。公式（4）中的 TVL₁ 和 TVL 为 GBZ/T201.2-2011 附录 B 表 B.1 的 90° 泄漏辐射的半值层，分别为 TVL₁=35，TVL=31cm；公式（6）中，e 点的 R=5.1m，k 点的 R=9.0m；f=0.001（泄漏辐射比率）。

③预测计算结果

将各参数代入公式，计算结果如表 11-4。

表 11-4 侧屏蔽区屏蔽效果计算表

关注点		北墙侧屏蔽区（e 点）	南侧迷路外墙屏蔽区（k 点）
X（cm）	设计屏蔽	800mm 钢筋混凝土+220mm 防护钢板	1200mm 钢筋混凝土+100mm 防护钢板
	等效混凝土厚度	165.1cm 钢筋混凝土	158.7cm 钢筋混凝土
θ		0°	30°
X _e （cm）		165.1	183.2
TVL（cm）		31	31
TVL ₁ （cm）		35	35
B		6.36×10^{-6}	1.65×10^{-6}
R（m）		5.1	9.0
$\dot{H}_0$ （ $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ）		1.44×10^9	1.44×10^9
f		0.001	0.001
$\dot{H}$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）		0.352	0.029
$\dot{H}_c$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）		2.5	2.5
评价结果		满足	满足

注：查阅《辐射防护手册（第一分册）》图 10.7，入射电子能量为 10MeV 时，所产生的 X 射线在屏蔽板中衰减的半值厚度为：普通混凝土中半值厚度为 12cm，钢中半值厚度为 3.1cm，将防护钢板等效成混凝土厚度。

（4）与主屏蔽区相连的次屏蔽区（关注点：c₁、m₁）

与主屏蔽区相连的次屏蔽区关注点处剂量率，主要考虑辐射泄漏和患者散射的复合作用。

①对于泄露辐射按照公式（6）的计算方法，10MV 电子直线加速器泄漏辐射在

混凝土中的什值层为：90° 泄漏射线束：TVL₁为 35m，TVL 为 31cm，取 f=0.001，计算结果如下表所示。

表 11-5 与主屏蔽区相连的次屏蔽区泄漏辐射关注点剂量率

关注点		东侧次屏蔽区（c ₁ 点）	房顶次屏蔽区（m ₁ 点）
X（cm）	设计屏蔽	1200mm 钢筋混凝土+140mm 厚（20mm×7 层）防护钢板	300mm 钢筋混凝土+2.3m 土层
	等效混凝土厚度	174.1cm 钢筋混凝土	167.0cm 钢筋混凝土
斜射角θ		30°	30°
X _e （cm）		201.0	192.8
TVL（cm）		31	31
TVL ₁ （cm）		35	35
B		4.41×10 ⁻⁷	8.1×10 ⁻⁷
R（m）		7.0	7.6
$\dot{H}_0$ （μSv·m ² /h）		1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹
f		0.001	0.001
$\dot{H}$ （μSv/h）		0.013	0.020
$\dot{H}_c$ （μSv/h）		2.5	2.5
评价结果		满足	满足

注：查阅《辐射防护手册（第一分册）》图 10.7，入射电子能量为 10MeV 时，所产生的 X 射线在屏蔽板中衰减的半值厚度为：普通混凝土中半值厚度为 12cm，钢中半值厚度为 3.1cm，将防护钢板等效成混凝土厚度。

②对于患者散射辐射，在给定的屏蔽物质厚度 X（cm）时，首先按照公式（2）计算有效厚度 X_e（cm），按照公式（4）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B（其中患者散射辐射在混凝土中的什值层查 GBZ/T201.2-2011 附录 B 表 B.4 知），对于 10MV 射线，当散射角 30° 时，患者散射辐射在混凝土中什值层为 28cm），再按照公式（8）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}$ （μSv/h）。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \bullet \alpha_{ph} \bullet (F / 400)}{R_s^2} \bullet B \qquad \text{（式 8）}$$

式中：

$\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，本项目取 1.44×10^9 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)。

α_{ph} —为患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子。根据散射线能量和考察点斜射角，查 GBZ/T201.2-2011 表 B.2 中 10MV，散射角 30° 对应的值，取 $\alpha_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$ 。

F—治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ，本项目为 $40\text{cm}\times 40\text{cm}=1600\text{cm}^2$ 。

R_s —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m。

表 11-6 与主屏蔽区相连的次屏蔽区患者散射关注点剂量率

关注点		东侧次屏蔽区（ c_1 点）	房顶次屏蔽区（ m_1 点）
X（cm）	设计屏蔽	1200mm 钢筋混凝土+140mm 厚（20mm $\times$ 7 层）防护钢板	300mm 钢筋混凝土+2.3m 土层
	等效混凝土厚度	172.0cm 钢筋混凝土	167.0cm 钢筋混凝土
斜射角 θ		30°	30°
X_e （cm）		198.6	192.8
TVL（cm）		28	28
TVL ₁ （cm）		28	28
B		8.07×10^{-8}	1.3×10^{-7}
R_s （m）		7.0	7.6
$\dot{H}_0$ （ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ）		1.44×10^9	1.44×10^9
F（ cm^2 ）		1600	1600
α_{ph}		3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}
$\dot{H}$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）		0.030	0.041

注：查 GBZ/T201.2-2011 附录 B.3，散射角为 0° 、加速器射线能量为 10MV 时，患者散射辐射的平均能量为 2.7MeV；查阅《辐射防护手册（第一分册）》图 10.7，入射电子能量为 2.7MeV 时，所产生的 X 射线在屏蔽板中衰减的半值厚度为：普通混凝土中半值厚度为 10.53cm，钢中半值厚度为 2.83cm，将防护钢板等效成混凝土厚度。

综上，与主屏蔽相连的次屏蔽区的剂量率为泄漏辐射和患者散射之和，本项目次屏蔽区的剂量率见表 11-7。

表 11-7 与主屏蔽区相连的次屏蔽区剂量率叠加之和

关注点	南侧次屏蔽区 (c ₁ 点)	房顶次屏蔽区 (m ₁ 点)
泄漏辐射剂量率 (μSv/h)	0.013	0.020
散射辐射剂量率 (μSv/h)	0.030	0.041
剂量率叠加之和 (μSv/h)	0.043	0.061
$\dot{H}_c$ (μSv/h)	2.5	2.5
评价结果	满足	满足

(5) 迷路内墙屏蔽计算 (关注点: g 点)

①射线路径 (射线类型)

O₁~g (泄漏射线)

②计算模式及参数选择

O₁ 至 g 点的距离 R=7.5m, 迷道内墙等效厚度 X_e=189.0cm。取泄漏因子 f=0.001, 公式(2)中的 TVL₁ 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射半值层值, 分别为 TVL₁=35cm, TVL=31cm。

③预测计算结果

将各个参数代入公式 (4), 计算得出 B=1.08×10⁻⁶, 然后再带入公式 (6), 计算得 g 点瞬时泄漏辐射剂量率 $\dot{H}$ 为 0.028μSv/h, 能满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011) 中 4.3.2.5.1 条关于“泄漏辐射在 g 处的剂量应为参考控制水平的一个分数 (应小于 1/4)”的要求 (即<0.625 μSv/h)。

(6) 防护门屏蔽效果核算 (关注点: g 点)

防护门关注点 g 分为有用线束在屏蔽墙上的一次散射辐射 (O—i—g)、泄漏辐射穿透迷道内墙后的散射辐射 (O₁—g)。

①泄漏辐射穿透迷道内墙后的散射辐射 (O₁—g)

O₁ 至 g 点的距离 R=7.5m, 迷道内墙等效厚度 X_e=189.0cm。

取泄漏因子 f=0.001, 公式 (4) 的 TVL₁ 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射半值层值, 分别为 TVL₁=35cm, TVL=31cm。

各参数代入公式 (4) 计算得, B=1.08×10⁻⁶; 各参数代入公式 (6) 计算得, 路径 “O₁—g” 在入口关注点处 g 的泄露辐射剂量率为 0.028μSv/h。

②有用线束在屏蔽墙上的一次散射辐射（O—i—g）

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \bullet (F / 400)}{R_1^2} \bullet \frac{\alpha_2 \bullet A}{R_2^2} \bullet \dot{H}_0 \quad (\text{式 9})$$

式中： $\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ，本项目取 1.44×10^9 （ $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ）。

A—i 处的散射面积 m^2 ，图 11-1 中的 A 区域， 28m^2 。

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上的散射因子。根据散射线能量和考察点斜射角，查 GBZ/T201.2-2011 表 B.2 中 10MV，通常取 45° 散射角对应的值，取 $\alpha_{ph}=1.35 \times 10^{-3}$ 。

F—治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ，本项目为 $40\text{cm} \times 40\text{cm}=1600\text{cm}^2$ 。

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射（能量见附录 B 表 B.3）的散射因子，通常取 i 处的入射角为 45° ，散射角为 0° ， α_2 值见附录 B 表 B.6， 5.1×10^{-3} 。

R_1 —“o—i”之间的距离，6.8m。

R_2 —“i—g”之间的距离，10.1m。

将各参数带入公式（9）计算得，路径“O-i-g”在入口关注点处 g 的散射辐射剂量率为 $235.4\mu\text{Sv/h}$ 。

所需的铅屏蔽透射因子 B 计算公式如下：

$$B = \frac{\dot{H}_c - \dot{H}_{og}}{\dot{H}_g} \quad (\text{式 10})$$

式中： $\dot{H}_{og}$ —为图 11-1 中的 O_1 位置穿过迷路内墙的泄漏辐射在 g 处的剂量率，其值按公式（6）计算，经计算其值为 $0.028\mu\text{Sv/h}$ 。

$\dot{H}_c$ —为迷道入口 g 点的控制剂量， $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

铅的 TVL 取值为 5.7mm，相应 $B=0.0105$ 的铅厚度 $X=\text{TVL} \cdot \log B^{-1}=11.3\text{mm}$ 。本项目机房防护铅门设计屏蔽能力为 16mmPb ，评价要求防护门应委托有资质单位安装。

防护门外的辐射剂量率 $\dot{H}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）为：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \bullet 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \quad (\text{式 11})$$

式中： $\dot{H}_{og}$ —穿过迷路内墙的泄漏辐射在 g 处的剂量率，其值按公式（6）计算，经计算其值为 0.028 μ Sv/h。

X—防护门的厚度，本项目设计厚度为 16mmPb 铅门。

TVL—本项目取铅板的 TVL 为 5.7mm。

由上式（11）计算可得，防护门设计厚度为 16mmPb 时，其外表面 30cm 处剂量率为 0.395 μ Sv/h。

（7）屏蔽效果评价

根据上述核算公式（式 3）、（式 5）、（式 7）和核算参数进行计算，本项目 10MV 直线加速器治疗室各墙体屏蔽效能核算见表 11-8。

表 11-8 直线加速器机房辐射防护屏蔽厚度理论估算

计算对象	R (m)	f	B	X _e (cm)	θ	估算值 (cm 混凝土)	设计值 (cm 混凝土)	结论
东墙主屏蔽外表面 30cm 处	6.86	1	8.17×10^{-8}	266.2	0°	266.2	293.8	满足
房顶主屏蔽外表面 30cm 处	7.12	1	8.8×10^{-8}	265.1	0°	265.1	274.6	满足
北墙侧屏蔽外表面 30cm 处	5.1	0.001	4.52×10^{-5}	138.7	0°	138.7	165.1	满足
迷道外墙屏蔽外表面 30cm 处	9.0	0.001	1.41×10^{-4}	123.4	0°	123.4	158.7	满足
迷道内墙屏蔽外表面 30cm 处	7.5	0.001	1.95×10^{-5}	150	54.35°	87.4	189.0	满足
防护门外表面 30cm 处	16.9	1	0.0105	/	/	11.3mmPb 铅防护门	16mmPb 铅防护门	满足
东墙与主屏蔽相连的次屏蔽外表面 30cm 处	7.0	0.001	8.51×10^{-5}	130.2	30°	112.7	174.1	满足
房顶与主屏蔽相连的次屏蔽外表面 30cm 处	7.6	0.001	1.0×10^{-4}	127.9	30°	110.8	167.0	满足

备注：防护门的屏蔽效果估算见“（6）防护门屏蔽效果核算”小节。

(8) 屏蔽效果剂量评价

本项目直线加速器机年照射时间为 33.3h。根据表 11-2~11-7，直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-9。

表 11-9 直线加速器机房墙体墙、顶、门屏蔽核实结果（混凝土 $\rho=2.35\text{g/cm}^3$ ）

屏蔽区	关注点	剂量率值 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率控制结论	居留因子	年剂量率估算值 (mSv/a)	目标管理值(mSv/a)	结论
东墙主屏蔽	a	0.450	2.5	满足	1	0.015	5	满足
房顶主屏蔽	l	1.380	2.5	满足	1/16	0.003	0.25	满足
北墙侧屏蔽	e	0.352	2.5	满足	1/16	0.0007	0.25	满足
迷道外墙屏蔽	k	0.029	2.5	满足	1	0.001	0.25	满足
迷道内墙屏蔽	g	0.028	2.5	满足	1/16	0.00006	0.25	满足
东墙与主屏蔽相连的次屏蔽	c ₁	0.043	2.5	满足	1/4	0.0004	0.25	满足
房顶与主屏蔽相连的次屏蔽	m ₁	0.061	2.5	满足	1/16	0.00013	0.25	满足
铅防护门	/	0.395	2.5	满足	1/16	0.001	0.25	满足

备注：居留因子根据查阅《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第一部分：一般原则》中附录 A 得出。

综上，本项目加速器机房四周墙体辐射屏蔽措施满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中“在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围空气吸收剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求；根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）中“4.2.2 治疗机房顶的剂量当量控制要求”的相关规定，本项目加速机房房顶剂量控制要求为 $\dot{H}_{c,\max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ，经计算，本项目加速器机房房顶辐射屏蔽措施能满足该剂量约束值的要求。

3、剂量估算

(1) 估算公式

X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量当量按下列公式计算：

$$H_{\text{Er}} = H^*_{(10)} \times T \times t \times 10^{-3} \quad (\text{式 } 12)$$

式中： H_{Er} —X 或 γ 射线外照射人均年有效剂量，mSv。

$H^*_{(10)}$ —X 或 γ 射线周围剂量当量率, $\mu\text{Sv/h}$ 。

T—居留因子。

t—X 或 γ 射线照射时间, 小时。

(2) 估算结果

根据医院提供资料, 考虑最不利因素影响, 年有效剂量当量估算结果见下表。

表 11-10 直线加速器年有效剂量当量估算表

设备	受 X 射线影响群体	机房外剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	设备年最大有效开机时间 (h)	年有效剂量 (mSv)
直线加速器	辐射工作人员	0.450	1	33.3	0.015
	非辐射工作人员、公众成员	楼上停车场	1/16*	33.3	0.003
		北侧消防通道	1/16*	33.3	0.0007
		患者进出防护门外	1/4*	33.3	0.0033

备注: * 根据查阅《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第一部分: 一般原则》中附录 A 得出。非辐射工作人员、公众成员的剂量率取值为机房屏蔽体表面 30cm 处的最大值进行附加剂量计算。

从表 11-10 计算结果可知, 本项目直线加速器辐射工作人员的年附加有效剂量当量为 0.015mSv/a。医院拟为加速器安排 11 名辐射工作人员, 故每名辐射工作人员受到的附加年有效剂量为 0.0014mSv/a, 低于年附加有效剂量管理目标值 5mSv/a; 非辐射工作人员和公众成员的年附加有效剂量当量最大为 0.0033mSv/a, 低于评价的年附加有效剂量管理目标值 0.25mSv/a, 满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 的要求, 同时满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的要求。

4、有害气体分析

(1) 臭氧

在加速器开机运行时, 产生的 X 射线与空气相互作用可产生少量臭氧和氮氧化物, 照射所指有害气体以臭氧为主, 在考虑通风情况下, 空气中的臭氧平衡浓度由下式估算:

$$Q = \frac{Q_0 \cdot T}{V} \quad (\text{式 13})$$

式中: Q—加速器治疗室内 O_3 平衡浓度, mg/m^3 。

Q_0 — O_3 的化学产额, mg/m^3 。

T—有效清除时间，h。

V—治疗室体积，m³。

加速器治疗室内的 O₃ 化学产额由下式计算：

$$Q_0 = 0.39 \cdot D_0 \cdot R \cdot G \quad (\text{式 14})$$

式中：D₀—距靶 1m 处的输出量，取值 2400cGy/min。

S—照射野面积，0.16m²。

R—X 射线束靶点到屏蔽物（墙）的距离，2.8m。

G—空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O₃ 分子数，一般为 6~10，为留有安全系数取值为 10。

有效清除时间 T 由下式计算：

$$T = \frac{T_v \cdot T_d}{T_v + T_d} \quad (\text{式 15})$$

式中：T_d—臭氧的有效分解时间，取 0.83h。

T_v—换气一次所需时间，按照相关标准要求机房设计通风系统换气次数应大于 4 次/h，设计换气次数为 6 次/h，即 T_v=0.1h/次。

计算得有效清除时间 T=0.089h。

本项目加速器治疗室体积约为 213.13m³，由上式计算得出换气次数 6 次/h 时，加速器机房内臭氧浓度约为 0.11mg/m³，低于《室内空气质量标准》(GB/T18883-2002) 标准中 O₃ 一小时平均浓度限值 (0.16mg/m³)。臭气通过管道引至楼顶排放，经扩散稀释后对环境的影响较小。

(2) 氮氧化物

在多种氮氧化物 (NO_x) 中，以 NO₂ 为主，其产额约为 O₃ 的一半。《室内空气质量标准》(GB/T18883-2002) 标准中 NO₂ 一小时平均浓度限值为 0.24mg/m³。因而，NO_x 产生和排放对周围大气环境的影响也很小。

二、后装机

1、后装治疗机放射源活度

本项目后装治疗系统拟配置的 ¹⁹²Ir 放射源活度为 3.7×10¹¹ (10Ci)，其半衰期为 74.02d，产生的γ射线平均能量为 0.37MeV。

2、后装机机房屏蔽情况

根据医院提供的资料，后装机用房包括机房、控制室及配套辅助用房。机房内空间尺寸约为长 4.65m×宽 4.55m×高 3.0m。机房楼下无建筑，南侧无建筑、为土层，人员无法到达，因此本评价不进行上述部分的屏蔽效能校核。

机房北墙、东墙、西墙为 800mm 厚的混凝土（ ρ 不小于 2.35g/cm³），南墙迷路内墙为 600mm 钢筋混凝土、迷路外墙为 250mm 钢筋混凝土+土层（墙外无建筑），房顶采取 800mm 钢筋混凝土，地面采取采取 60mm 厚混凝土+20mm 水泥砂浆+3mm 环氧自流平水泥砂浆。南侧和楼下无建筑；防护门拟采取 8mmPb 铅门。

后装机机房的面积情况见表 11-11 所示。

表 11-11 本项目后装机机房面积统计情况

机房	机房面积（m ² ）	标准要求（m ² ）	是否满足要求
后装机机房	21.16（不含迷道）	不小于 20	是

后装治疗室使用面积满足相关标准要求。

¹⁹²Ir 后装治疗机是放射源近距离治疗仪，屏蔽考虑 γ 射线对环境的影响。机房屏蔽效能核实时按放射源位于室内中心点周围 0.5m 范围内。除防护门散射计算外，其余均按主射线进行计算（散射的 TVL 按保守考虑，采用主射线的参数进行）。

3、计算公式

依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）标准，可计算后装机机房需要的屏蔽厚度，计算公式如下：

（1）有用线束方向屏蔽厚度估算

已知计算点剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 时，机房屏蔽所需要的透射因子 B 按下式进行计算：

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \times \frac{R^2}{f} \quad (\text{式 16})$$

式中： $\dot{H}_c$ —确定的剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ 。

R—辐射源至计算点的距离，m。

f—对有用线束为 1。

$\dot{H}_0$ —已知活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率，按照公式（17）进行计算， $\mu\text{Sv/h}$ 。

$$\dot{H}_0 = A \times K_r \quad (\text{式 17})$$

式中：A—放射源的活度，单位 MBq。

K_r—放射源的空气比释动能率常数，μSv/（h·MBq）。

（2）入口门处散射辐射剂量率计算公式

$$\dot{H}_g = \frac{A \times K_r \times S_w \times a_w}{R_1^2 \times R_2^2} \quad (\text{式 18})$$

式中：a_w—散射因子，无量纲。

S_w—迷路内口墙的散射面积，m²。

R₁—辐射源至散射体中心点的距离，m。

R₂—辐射体中心点至计算点的距离，m。

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_g} \quad (\text{式 19})$$

式中： $\dot{H}_c$ —关注点确定的剂量率参考控制水平，μSv/h。

B—透射因子，无量纲。

（3）屏蔽厚度的计算

对于计算出的屏蔽透射因子 B，按下式进行计算所需的有效屏蔽厚度。

$$X = [TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL)] \quad (\text{式 20})$$

式中：TVL₁—第一个什值层厚度，mm；TVL—平衡时什值层厚度，mm；当未指明 TVL₁ 时，TVL₁=TVL。

4、屏蔽效果评价

本项目后装机使用 1 枚活度为 10Ci 的 ¹⁹²Ir 密封放射源，其密封源产生的γ射线能量为 0.37MeV；空气比释动能率常数为 0.111μSv/（h·MBq），从保守角度考虑，选取 2 倍安全系数进行估算。混凝土什值层厚度 TVL=152mm。其中，估算防护门处屏蔽厚度时，考虑γ射线的多次散射能量降低影响，到防护门处能量取 0.20MeV；γ射线能量为 0.2MeV 时，铅什值层 TVL=5mm（数据来源：GBZ/T201.3-2014 标准）；散射因子查 GBZ/T201.3-2014 标准附录 C 中的表 C.4 取 3.39×10⁻²。本项目计算点选取屏蔽墙体或防护门外表面 30cm 处，机房防护门、屏蔽墙体表面辐射剂量率控制水

平取 2.5μSv/h，选择迷路内墙与西墙之间中心点为辐射源点，依据公式（16）~（20），估算出的后装机机房屏蔽厚度见表 11-12。

表 11-12 后装机房辐射防护屏蔽厚度理论估算

计算对象	距离（m）	设计值（mm 混凝土）	估算值（mm 混凝土）	结论
东墙外表面 30cm 处	3.5	800	522	满足
西墙外表面 30cm 处	3.5	800	522	满足
北墙外表面 30cm 处	3.4	800	525	满足
屋顶外表面 30cm 处	3.1	800	538	满足
防护门外表面 30cm 处	R ₁ =4.3m; R ₂ =5.8m; S _w =6.3m ²	6mmPb	5mmPb	满足

备注：R₁为辐射源到散射体的距离；R₂为散射体到防护门表面 30cm 处之间距离。

由上表理论估算结果可知，本项目后装机房各屏蔽墙体、防护门设计厚度分别大于理论估算出混凝土厚度、铅当量，满足辐射防护相关条款要求。

5、屏蔽效果剂量估算

为了说明本次后装机机房的辐射屏蔽能力，根据建设单位提供的机房墙体屏蔽设计厚度、防护门设计厚度以及后装机房平面图，选用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）标准中的公式进行墙体或防护门外表面的辐射剂量率计算，计算公式如下：

（1）给定设计屏蔽厚度情况下，计算屏蔽透射因子 B

对于给定的屏蔽物质厚度 X，计算出的屏蔽透射因子 B，计算公式如下：

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (\text{式 21})$$

$$X_e = X \bullet \sec \theta \quad (\text{式 22})$$

式中：TVL₁—第一个什值层厚度，mm。

TVL—平衡时什值层厚度，mm；当未指明 TVL₁ 时，TVL₁ =TVL。

X_e—有效屏蔽厚度，mm。

X—给定屏蔽物质厚度，mm。

（2）屏蔽墙体厚度已知情况下，有用线束在屏蔽体外剂量率

已知屏蔽透射因子 B 时，计算屏蔽体外关注点剂量率按下式进行计算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \bullet f}{R^2} \bullet B \quad (\text{式 23})$$

式中： $\dot{H}$ —屏蔽体外关注点剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ 。

R —辐射源至关注点的距离， m 。

f —对有用线束为 1。

(3) 患者一次散射辐射，在防护门处剂量估算

$$\dot{H}_1 = \frac{A \times K_r \times S_w \times a_w}{R_1^2 \times R_2^2} \times B \quad (\text{式 } 24)$$

式中： a_w —迷路内口墙的散射因子，无量纲。

S_w —迷路内口墙的散射面积， m^2 。

R_1 —辐射源至散射体中心点的距离， m 。

R_2 —辐射体中心点至计算点的距离， m 。

依据公式 (21) ~ (24)，采用建设单位提供的后装机各屏蔽墙体厚度、防护门设计厚度、机房平面图，可以估算出本次后装机治疗室机房墙体外表面的辐射剂量率，估算结果见表 11-13。

由于后装机房南墙外无建筑，故不对南侧关注点 d 进行防护效能核算。本项目 10MV 加速器机房各侧墙体关注点及屋顶关注点见图 11-3 和图 11-4 所示。

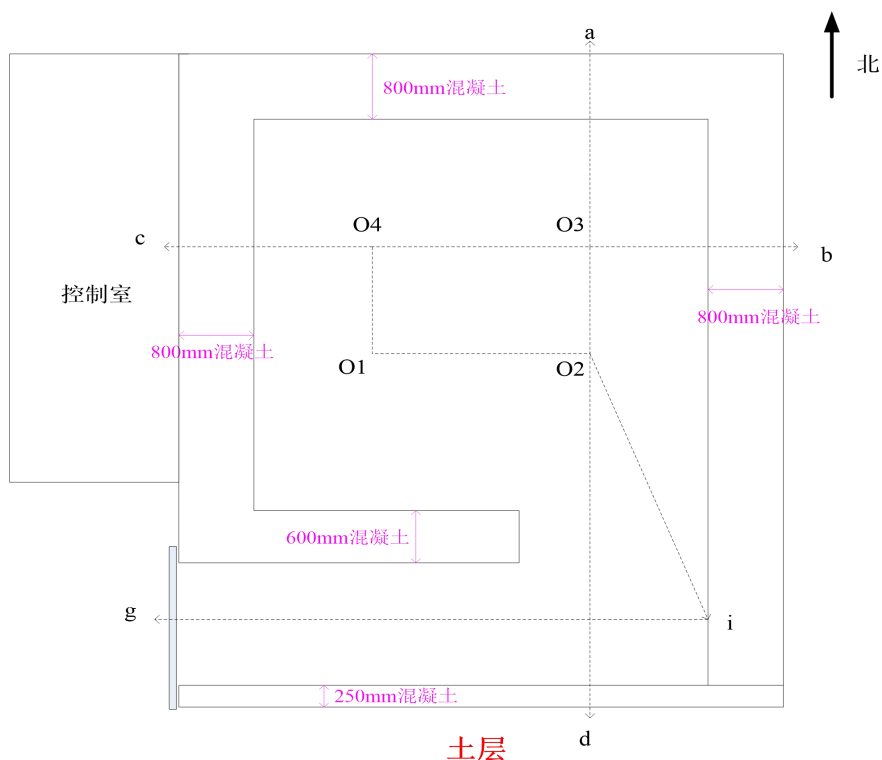


图 11-3 后装机房各侧墙体关注点示意图

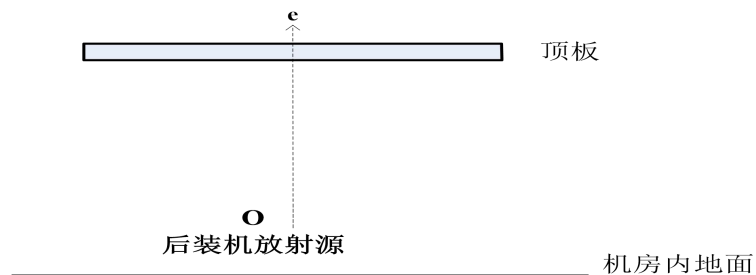


图 11-4 后装机房屋顶关注点示意图

表 11-13 后装机房屏蔽墙体表面辐射剂量率估算结果

计算对象	距离 (m)	设计值 (mm 混凝土)	剂量率 (μSv/h)	结论
东墙外表面 30cm 处	3.5	800	0.037	满足
西墙外表面 30cm 处	3.5	800	0.037	满足
北墙外表面 30cm 处	3.4	800	0.039	满足
屋顶外表面 30cm 处	3.1	800	0.047	满足
防护门外表面 30cm 处	R ₁ =4.3m; R ₂ =5.8m; S _w =6.3m ²	6mmPb	1.78	满足

备注：R₁为辐射源到散射体的距离；R₂为散射体到防护门表面 30cm 处之间距离。

由表 11-13 估算结果可知，本项目后装机治疗室机房采用设计厚度的屏蔽墙体、防护门后，¹⁹²Ir 放射源处于工作状态下，其墙体外表面 30cm 处辐射剂量率为 0.037~0.047μSv/h，防护门外表面 30cm 辐射剂量率为 1.78μSv/h。估算结果表明，治疗室屏蔽墙体、防护门表面辐射剂量率小于 2.5μSv/h，满足《后装γ源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017）相关限值要求。

6、人员剂量估算

（1）估算公式

剂量估算 X-γ射线产生的外照射人均年有效剂量当量按本章节的（式 12）计算，即：

$$H_{Er}=H^*_{(10)} \times T \times t \times 10^{-3} \quad (\text{式 12})$$

式中：H_{Er}—X 或γ射线外照射人均年有效剂量，mSv。

H*₍₁₀₎—X 或γ射线周围剂量当量率，μSv/h。

T—居留因子。

t—X 或γ射线照射时间，小时。

（2）估算结果

根据医院提供的资料，后装治疗机全年治疗约 800 人，根据建设单位经验，每例病人治疗时间不超过 30min，则后装治疗机年工作时间不超过 400h。

①辐射工作人员

按保守估计，以西墙外（控制室）瞬时剂量 $0.037\mu\text{Sv/h}$ ，由公式计算可知，受后装治疗机影响下控制室辐射工作人员所受的年有效剂量为 0.015mSv/a 。控制室辐射工作人员一般在开机前还需要为病人摆位，摆位时间不超过 3min/人。医生摆位时，保守考虑，不考虑放射源活度随时间衰变的作用，剂量率取源关闭状态下，距源容器表面 1m 处时的估算结果进行计算，摆位时受到的剂量最大为 $10\mu\text{Sv/h}$ （贮源器表面 100cm 处，根据 GBZ121-2017），摆位时受到的年有效剂量为 0.4mSv/a 。综上，辐射工作人员受到的总年有效剂量为 0.415mSv/a ，本项目拟安排 4 名放射工作人员，故平均每名放射工作人员的年附加有效剂量为 0.104mSv/a ，低于环评的年剂量约束值 5mSv/a ，满足管理目标的要求。

②非辐射工作人员和公众人员

因后装机治疗室位于负一层肿瘤诊疗科，一般人员很少到达且很少停留，非辐射工作人员和公众人员停留时间很短，因此非辐射工作人员和公众人员在后装机治疗室外的居留因子取 1/16，取最大瞬时剂量（防护门外） $1.78\mu\text{Sv/h}$ ，由公式计算可知，非辐射工作人员和公众人员所受的年附加有效剂量为 0.0445mSv/a ，低于年管理目标值 0.25mSv/a ，满足管理目标的要求。

7、对敏感点的影响分析

后装机机房位于原门诊楼负一层肿瘤诊疗中心，其北侧为物理室，东侧为电梯前室，西侧为控制室，南侧为土层、无建筑，楼上为急诊科，楼下为土层、无建筑。经评价计算，机房屏蔽体外 30cm 处的周围剂量当量率低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足评价标准要求。同时后装治疗机运行后对周围公众成员的年附加有效剂量低于 0.25mSv/a ，满足评价标准要求，表明后装机运行时对四周敏感目标产生的辐射影响很小，对其他较远敏感点产生的影响将更小，环境影响可接受。废气的浓度远远低于国家标准要求，对外环境影响很小因此对医院内其他区域的影响也很小。

8、机房臭氧

本项目后装机在使用过程中，产生少量的臭氧、氮氧化物等废气，由于后装机开机照射时间较短，因此产生臭氧（ O_3 ）量很少，氮氧化物的产生量仅是臭氧产额

的十分之一。后装治疗室通风换气次数设计为 6 次/h 的条件下，臭氧浓度甚小，少量的有害气体直接与大气接触、不累积，不会影响机房外大气环境质量的等级。

三、大孔径 CT

1、大孔径 CT 机房屏蔽能力分析

本次拟在肿瘤诊疗中心负一层安装一台大孔径 CT，属于Ⅲ类射线装置。根据建设单位提供的资料，该 CT 机房西、北、东侧屏蔽墙体采用 37cm 砖墙进行防护，南墙为 250mm 混凝土，顶部采取 180mm 混凝土+2mmPb 防护铅板，防护门、防护窗设计 3mm 铅当量。

本项目大孔径 CT 机房辐射屏蔽情况见表 11-14，机房最小使用面积和单边长度情况见 11-15。

表 11-14 CT 机房辐射屏蔽情况

射线装置	屏蔽体	防护门铅当量	GBZ130-2013 规定的铅当量	结论
大孔径 CT	①西、北、东墙：37cm 砖（折合 3mm 铅当量）； ②南墙：250mm 混凝土（折合 3mm 铅当量）； ③屋顶：180mm 混凝土+2mmPb 防护铅板（折合 4mm 铅当量）。	3mm	2mm（一般工作量）、 2.5mm（较大工作量）	满足

备注：从保守角度，37cm 砖墙按照 3mm 铅当量进行折算。

表 11-15 CT 机房面积、长度情况

机房	实际设计值		GBZ130-2013 标准以及相关规定		结论
	最小使用面积（m ² ）	最小单边长度（m）	最小使用面积（m ² ）	最小单边长度（m）	
CT 机房	34.1	5.5	30	4.5	满足

根据建设单位提供的 CT 机房参数，查阅《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）标准，可以看出（表 11-14、表 11-15）：本项目 CT 机房屏蔽墙体、防护门厚度均大于等于《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）标准规定的铅当量厚度，满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）标准第 5.3 款要求；CT 机房满足设备空间使用要求，最小有效使用面积、最小单边长度均大于《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）标准规定的面积、最小单边长度，符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）标准第 5.2 款规定、《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的相关规定。

2、剂量估算

(1) 估算公式

①X 射线的输出率按下式计算：

$$H = \dot{G} \times I \times 60 \times 10^3 \quad (\text{式 25})$$

式中：H—X 射线的输出率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

$\dot{G}$ —发射率， $\text{mGy/mA} \cdot \text{min}$ ；

I—工作电流，mA。

本项目大孔径 CT 的最大管电压为 140kV，最大管电流为 500mA。由于大孔径 CT 在实际使用中并不会满负荷运行，因此选取其实际最大运行管电压和管电流进行辐射防护屏蔽效能核算。根据建设单位提供的资料，大孔径 CT 实际运行最大管电压为 120kV，最大管电流为 360mA。根据《医用外照射源的辐射防护》P55 图 2，当管电压为 120kV 时，采取 0.5mm 铜过滤片，离靶 1m 处发射率约为 $2.85\text{mGy/mA} \cdot \text{min}$ ；则大孔径 CT 实际运行最大管电流为 360mA 时，距靶 1m 处的最大剂量率为 $6.16 \times 10^7 \mu\text{Gy/h}$ 。CT 机本身自带屏蔽体，四周墙体均不为主射线方向，主束照向患者，各关注点处仅考虑泄漏线和散射线影响。一般射线泄漏、散射率按 0.1%估算。

②泄漏辐射剂量率估算

泄漏辐射剂量率计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{H_1 \times q}{K \times R^2} \quad (\text{式 26})$$

式中： H_1 —X 漏射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

q—居留因子；

K—减弱倍数，K 按下式计算：

$$K = 10^{\frac{d}{\text{TVL}}} \quad (\text{式 27})$$

式中：d—屏蔽材料厚度，cm；

TVL—材料十值层厚度，cm。查《辐射安全手册》潘自强，采取内插法计算 120kV 时铅的十值层厚度为 0.083cm。

③散射辐射剂量率

散射辐射剂量率计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{H \times \alpha \times q \times S}{K \times R^2 \times r^2} \quad (\text{式 } 28)$$

式中：α—人体散射系数，0.0016/400cm²；

S—散射面积，取 400cm²；

R—参考点距离，m；

r—焦皮距，取 0.3m。

(2) 计算参数

查《辐射安全手册》潘自强，采取内插法计算各屏蔽材料的 TVL 值见，TVL 值详见下表。

表 11-16 各屏蔽材料的 TVL 值

管电压	屏蔽材料 TVL 值 (cm)		
	铅 (11.3g/cm ³)	混凝土 (2.35g/cm ³)	砖 (1.65g/cm ³)
120kV	0.083	6.22	8.86

(3) 估算结果

辐射剂量率计算结果见表 11-17。

表 11-17 各关注点辐射剂量率估算结果

关注点位置		距离 R (m)	减弱倍数 K	泄漏辐射剂量率 H _L (μSv/h)	散射辐射剂量率 H _S (μSv/h)	总有效剂量率 H _R (μSv/h)
北 侧	控制室墙体外 30cm 处	4.0	1.5×10 ⁴	0.257	0.005	0.262
	观察窗外表面 30cm、操作人员位置	4.0	4.12×10 ³	0.935	0.017	0.952
东 侧	患者出入防护门外表面 30cm	3.5	1.5×10 ⁴	0.084	0.002	0.086
	走廊流动人员	3.5	1.5×10 ⁴	0.084	0.002	0.086
西 侧	质控室及气瓶间流动人员	3.5	1.5×10 ⁴	0.335	0.006	0.341
楼 上	急诊科流动人员	3.3	6.6×10 ⁴	0.021	0.0004	0.0214

备注：楼下无建筑，南侧为土层，故不对楼下和南侧进行核算。

由上表可知，本项目大孔径 CT 运行状态下，其机房屏蔽墙体以及观察窗、防护门外表面 30cm 处辐射剂量率最大为 0.952μSv/h，均满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）中 2.5μSv/h 限值要求。

3、人员附加剂量估算

本项目大孔径 CT 年有效剂量当量估算结果见下表。

表 11-18 大孔径 CT 年有效剂量当量估算表

设备名称	受 X 射线影响群体	墙体外最大瞬时剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年最大开机时间 (h)	居留因子取值	剂量估算 (mSv/a)
大孔径 CT	放射工作人员	0.952	46.7	1	0.044
	公众人员	0.341	46.7	1/4	0.004

由上表可知，大孔径 CT 辐射工作人员的年受照剂量为 0.044mSv/a ，本项目拟安排 3 名辐射工作人员，故每名辐射工作人员受到的年附加剂量约为 0.015mSv/a ；公众人员的年受照剂量为 0.004mSv/a ，均低于年有效剂量管理目标值 5mSv/a （辐射工作人员）、 0.25mSv/a （公众成员），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及本评价确定的年有效剂量管理目标等相关要求。

大孔径 CT 为 III 类射线装置，在运行中，不产生放射性废水、废气和固体废物，主要污染物是 X 射线贯穿辐射，其次是伴随 X 线产生的臭氧和氮氧化物。臭氧和氮氧化物产生量很少，对环境的影响十分轻微，故不作估算。

事故影响分析（分析项目运行中可能发生的辐射事故，并说明预防措施。）

1、直线加速器

（1）直线加速器潜在事故分析与对策

①直线加速器机房安全联锁装置失效

分析：由于未及时检修，门机联锁、门灯联锁等联锁装置失效，门处于半开启状态，直线加速器仍能运行，人员进入直线加速器机房而受到照射。

防治措施：按操作规程定期对各个连锁装置进行检查，发现故障及时清除，严禁在门-机、门-灯连锁装置失效的情况下违规操作；通过装置故障报警系统及时发现故障，及时修复；通过纵深防御以减少由于某个连锁失效或在某个连锁失效期间产生辐射。

②直线加速器治疗时，工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离治疗室。

防治措施：开机运行前，工作人员认真检查机房内人员情况，除病人外，一律不得停留。待确认无误后，方可进行下一步操作。

③人误

不了解直线加速器的基本性能和结构，缺乏操作经验；缺乏防护知识，安全观念淡薄、无责任心；违反操作规程和有关规定，操作失误；管理不善、领导失察等

是人为的因素造成辐射事故（造成患者治疗损伤）的最大原因。

防治措施：辐射工作人员须加强专业知识学习，加强防护知识培训，了解应当做什么、怎么做，避免犯普通错误；加强职业道德修养，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

（2）直线加速器风险防范措施

①按操作规程定期对各个联锁装置进行检查，发现故障及时清除，严禁在门-机联锁装置失效的情况下违规操作；通过装置故障报警系统及时发现故障，及时修复；通过纵深防御以减少由于某个联锁失效或在某个联锁失效期间产生辐射。

②撤离机房时应清点人数，必须按程序对直线加速器治疗机房全视角搜寻；用对讲机呼叫，声灯报警。运行时发现有人员滞留室内，由控制室紧急按下停机开关；如机房内有工作人员未及时出来，可通过随身携带的仪器报警，立即按下机架上的紧急停机开关，可将辐射危险的严重程度降至最低限度。

③辐射工作人员必须加强专业知识学习，加强防护知识培训，了解应当做什么、怎么做，避免犯普通错误；加强职业道德修养，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

2、 ^{192}Ir 后装机潜在照射事故

与直线加速器相比，后装机除门-灯联锁装置失效外，还可能发生放射源事故（事件）和仪器维（检）修误照事故。后装机运行期，在意外情况下，可能出现的辐射事故（事件）分析如下：

（1）放射源事故（事件）

分析：治疗完成后，放射源回不到贮源容器内；换源或装源时，未做好准备工作，工作人员缺乏经验，情绪紧张，致使放射源脱落，造成机房内周围人员受到大剂量照射；设备检修时，工作人员误将后装机的屏蔽装置打开或卸下放射源，都会对维修人员产生很强的辐射照射，由于机房屏蔽墙体足够厚，所以不会对外界产生辐射影响；后装机换装放射源后产生的报废源，因管理不善发生被盗、丢失、遗弃等事故，而引发环境辐射污染。

预防措施：放射源回不到贮源容器内（卡源），应立即报告主管人，请有经验的专业人员协助解决，尽量减少受照时间；换源或装源必须由有资格的专业人员进行。做好换装源程序和一切准备工作，工作人员必须佩带辐射监测仪器，穿戴防护

衣帽，疏散周围人员。严格加强 ^{192}Ir 放射源的安全管理，严格按照规定的实施方案进行换装源，确保环境和人员安全，杜绝事故（事件）发生。

（2）仪器维（检）修

仪器维（检）修后应对后装机进行检查，主要检查放射源是否在贮源器内、贮源器屏蔽体是否破损、密封放射源是否破损造成仪器及地面表面污染。检测后确认仪器处于正常状态下才能进行工作。

造成仪器及地面表面污染。检测后确认仪器处于正常状态下才能进行工作。

（3）放射源卡源

后装机 ^{192}Ir 卡源是指放射源不能在放射源通道通过，放射源无法自动回归贮源容器内，即治疗结束后源始终处于照射状态。

预防措施：出现这种情况工作人员立即按动紧急停止按钮，穿好防辐射服迅速进入治疗室，沿墙壁绕到设备后面，打开后装机贮源容器，将放射源从后装机贮源容器转移到运输放射源用的储源罐中。

3、大孔径 CT

（1）X 射线装置潜在照射（危险）分析与对策

本项目大孔径 CT 为Ⅲ类射线装置，最大额定管电压为 140kV，由于 X 线的照射剂量率与管电压和管电流有关，一般管电流增加照射量率也将增加。X 射线装置受开机和关机控制，关机时没有射线发出。在意外情况下，可能出现的辐射事故（事件）如下：

①工作人员或病人家属在防护门关闭前尚未撤离机房，X 射线装置运行可能产生误照射。

②安全装置发生故障状况下，人员误入正在运行的 X 射线装置治疗室。

对策：为避免上述事故的发生，医务人员必须严格按照 X 射线装置操作程序进行诊断，防止事故照射的发生，避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射。同时在机房防护门内设置人工紧急停机及开门按钮，要求工作人员每次上班时首先要检查防护门上警示信号灯是否正常。如果警示信号灯失灵，应立即修理，恢复正常。平时应加强对工作人员安全教育，严格按操作规程操作。

③滥用 X 线对病员进行诊断、治疗，造成病员受到不必要的照射。

对策：辐射工作人员必须认真考虑，只有确认该项检查、治疗对受检者的病情

诊治和健康有好处时才进行 X 射线诊疗。

(2) X 射线装置风险防范措施

①按操作规程定期对各个联锁装置进行检查，发现故障及时清除，严禁在警示灯失效的情况下违规操作。

②撤离机房时清点人数，必须按程序对机房进行全视角搜寻，对滞留机房内的无关人员强行劝离。有外来人员进入时，工作人员应根据情况，采取急停或相应措施，阻止外来人员受到误照射。

③辐射工作人员必须加强防护知识培训，提高防护技能，避免犯常识性错误；加强职业道德修养，增强责任感；严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

④医院应定期组织辐射工作人员学习专业业务知识，不断提高业务水平。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

为保证项目建设期和运营期的辐射防护措施落实情况，按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表>的通知》（陕环办发[2018]29 号）的“辐射安全管理部分”要求，医院已采取的辐射安全与环境保护管理措施核实如下表：

表 12-1 榆林市第一医院辐射安全与环境保护管理机构措施表

管理内容		管理要求	对照落实情况
*人员管理	决策层	就确保辐射安全目标做出明确的文字承诺，并指派有决策层级的负责人分管辐射安全工作。	建设单位印发了《榆林市第一医院放射防护管理委员会职责》文件，明确辐射安全管理部门和岗位的辐射安全职责，在工作要求中并对年初工作安排和年终工作总结提出应包含辐射环境安全管理工作内容。
		年初工作安排和年终工作总结，应包含辐射环境安全管理工作内容。	
		明确辐射安全管理部门和岗位的辐射安全职责。	
	辐射防护负责人	提供确保辐射安全所需的人力资源及物质保障。	所有辐射工作人员均参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗；熟知辐射安全法律法规及相关标准的具体要求并向员工和公众宣传辐射安全相关知识。
		参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗；熟知辐射安全法律法规及相关标准的具体要求并向员工和公众宣传辐射安全相关知识。	
		负责编制辐射安全年度评估报告，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度评估报告。	
	辐射防护负责人	建立健全辐射安全管理制度，跟踪落实各岗位辐射安全职责。	项目投入使用后由辐射防护负责人负责编制辐射安全年度评估报告，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度评估报告。
			已建立《辐射防护和安全保卫制度》、《辐射工作设备操作规程》、《辐射设备维护、维修制度》、《辐射工作人员培训制度》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射工作场所监测制度》、《放射工作人员职业病健康管理》、《放射工作人员和监测设备管理制度》、《榆林市第一医院辐射事故应急预案》、《个人剂量监测管理制度》等。

		建立辐射安全管理档案。	建立辐射安全管理档案
		对辐射工作场所定期巡查，发现安全隐患及时整改，并有完善的巡查及整改记录。	项目投入使用后应定期对辐射工作场所巡查，发现安全隐患及时整改，并有完善的巡查及整改记录。
	直接从事放射工作的作业人员	岗前进行职业健康体检，结果无异常。	对辐射人员进行岗前职业健康体检，结果无异常可上岗。
		参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗。	若后期新增辐射工作人员，评价要求对新增的辐射人员必须参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗。
		了解本岗位工作性质，熟悉本岗位辐射安全职责，并对确保岗位辐射安全做出承诺。	让新增人员了解本岗位工作性质，熟悉本岗位辐射安全职责，并对确保岗位辐射安全做出承诺。
		熟悉辐射事故应急预案的内容，发生异常情况后，能有效处理。	对工作人员进行辐射事故应急预案培训。
*机构建设	设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，以正式文件明确辐射安全与环境保护管理机构和负责人。	已设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，并以正式文件明确辐射安全与环境保护管理机构和负责人。	

注：表中标注“*”内容为关键项，为强制性规范要求。

根据医院提供的资料，医院已成立了辐射安全防护管理委员会领导小组，并明确了相应责任人和人员职责，辐射安全与环境保护管理机构的设置符合相关的环保要求。评价要求本项目建成运行后，应将本次建设内容纳入医院现有的规章管理制度中。

辐射安全管理规章制度

1、管理制度

榆林市第一医院原有已制定的放射防护相关管理制度主要有：《辐射防护和安全保卫制度》、《辐射工作设备操作规程》、《辐射设备维护、维修制度》、《辐射工作人员培训制度》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射工作场所监测制度》、《放射工作人员职业病健康管理制度》、《放射工作人员和监测设备管理制度》、《榆林市第一医院辐射事故应急预案》、《个人剂量监测管理制度》、《核医学科医护人员的职责》、《核医学科工作制度》、《核医学工作人员的防护》、《放射

性核素的订购、领取、保管、使用制度》、《放射性药物收发和保管制度》、《放射性三废处理方案》、《放射性废物处理及事故处理》等，以及各辐射设备的操作规程等一系列规章制度，用于医院辐射安全管理。

根据《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的通知（陕环办发[2018]29号）相关规定，榆林市第一医院已制定了一系列辐射安全管理制度，并认真落实各项规章制度。医院现有辐射安全管理制度核实如下表 12-2 所示。

表 12-2 榆林市第一医院辐射安全管理制度表

管理内容	管理要求	对照落实情况
*制度建立与执行	建立全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度，指定专人负责系统使用和维护，确保业务申报、信息更新真实、准确、及时、完整。	建立了全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度，指定专人负责系统使用和维护。
	建立放射性同位素与射线装置管理制度，严格执行进出口、转让、转移、收贮等相关规定，并建立放射性同位素、射线装置台账。	建立了《辐射设备维护、维修制度》、《放射工作人员和监测设备管理制度》、《放射性核素的订购、领取、保管、使用制度》、《放射性药物收发和保管制度》等，严格执行进出口、转让、转移、收贮等相关规定，建立了放射性同位素、射线装置台账。
	建立本单位放射性同位素与射线装置岗位职责、操作规程，严格按照规程进行操作，并对规程执行情况进行检查考核，建立检查记录档案。	建立了《辐射防护和安全保卫制度》、《放射工作人员岗位职责》、《核医学科医护人员的职责》、《核医学科工作制度》、等。
	建立辐射工作人员培训管理制度及培训计划，并对制度的执行情况及培训的有效性进行检查考核，建立相关检查考核资料档案。	建立了《辐射工作人员培训制度》。
	建立辐射工作人员个人剂量管理制度，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员分析原因并及时报告相关部门，保证个人剂量监测档案的连续有效性。	建立了《个人剂量监测管理制度》。
	建立辐射工作人员职业健康体检管理制度，定期对辐射工作人员进行职业健康体检，对体检异常人员及时复查，保证职业人员健康监护档案的连续有效性。	建立了《放射工作人员职业病健康管理制度》。
	建立辐射安全防护设施的维护与维修制度（包括维护维修内容与频次、重大问题管理措施、重新运行审批级别等），并建立维护与维修工作记录档案（包括检查项目、检查方法、检查	建立了《辐射设备维护、维修制度》、《放射工作人员和监测设备管理制度》等。

	结果、处理情况、检查人员、检查时间)。	
	建立辐射环境监测制度，定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，并建立有效的监测记录或监测报告档案。	评价要求按本次环评内容完善《辐射工作场所监测制度》
	建立辐射环境监测设备使用与检定管理制度，定期对监测仪器设备进行检定，并建立检定档案。	建立了《辐射防护检测仪器年检管理制度》、《放射工作人员和监测设备管理制度》。

注：表中标注“*”内容为关键项，为强制性规范要求。

根据《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表>的通知》（陕环办发[2018]29号）的“辐射安全管理部分”要求以及本次项目的建设内容，环评要求榆林市第一医院辐射安全管理措施中部分条款仍需完善如下条款：

①针对本项目应用的直线加速器、大孔径 CT 等内容，制定相应的《辐射工作设备操作规程》、《质量保证大纲和质量控制检测计划》、《辐射设备维护、维修制度》、《放射工作人员和监测设备管理制度》《辐射工作人员岗位职责》，并严格执行。

②评价要求按本次应用的直线加速器、大孔径 CT、后装机，完善《辐射工作场所监测制度》。

③本项目拟安排的辐射工作人员均为医院现有辐射工作人员。根据建设单位提供的资料，本次评价项目拟安排的辐射工作人员 2018 年 12 月 11 日~2019 年 11 月 30 日连续一年的累积剂量为受照剂量 0.04~0.27mSv，均满足不大于 5mSv 的剂量管理目标值。评价要求辐射人员工作期间，所有辐射工作人员均应佩戴个人剂量计，接受剂量监测，并将其健康档案保存终身。若后期新增辐射工作人员，评价要求需对新员工进行岗前职业健康体检，结果无异常方可上岗。

④将本次建设内容纳入医院现有的规章管理制度中，评价要求对若后期新增辐射人员，必须要求其参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗。

⑤医院应明确管理人员、辐射工作人员相关职责，根据密封放射源和射线装置实际使用情况，不断完善操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案，使其具有更强的针对性和可操作性。

⑥根据国家核技术利用申报系统要求，将本次建设的后装机、直线加速器以及大孔径 CT 等内容纳入现有台账管理中，完善现有台账制度。

2、辐射活动能力评价

医院从事辐射活动能力评价见下表。

表 12-3 从事辐射活动能力评价

应具备条件	落实情况
使用Ⅱ类射线装置的工作单位,应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构,或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。	已成立辐射防护领导小组,并指定专人负责射线装置运行时的安全和防护工作,有1名具有本科学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。
从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	医院承诺所有的放射工作人员均进行辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训,持证上岗。
射线装置使用场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	拟设置警示标志,安装门-机联锁装置、安装警示灯、固定剂量报警仪、个人剂量报警仪、紧急停机按钮等。
配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器,包括个人剂量计。	专职放射工作人员均拟配备个人剂量计,配备一定数量的辐射防护用品供放射工作人员和病员使用。
有完善的辐射事故应急措施。	通过本次环评完善和补充,定期演练。

医院改造的直线加速器和后装机、大孔径 CT 防护设施符合相关要求,放射工作人员拟从医院现有辐射工作人员中安排,均已取得辐射安全防护培训并取得培训证书。各机房根据设计要求及环评要求建设相应辐射防护设施,配备环评要求的防护用品,放射工作人员均参加辐射防护培训,持证上岗,完善与本项目有关的辐射防护制度,医院在营运期有满足从事辐射活动的能力。

辐射监测

根据国家相关法规要求,开展放射诊疗工作的医疗机构应当对其设备性能、工作场所防护及放射工作人员职业受照情况定期开展自主或委托监测,以保障放射诊疗工作的正常开展以及人员的健康和安全。

1、个人剂量监测

该项目涉及的放射工作人员均须配备个人剂量计,进行个人剂量监测。每季度委托具有相应资质的个人剂量监测技术服务机构进行监测,并建立个人剂量档案,安排专人负责个人剂量监测管理。个人剂量档案应当终身保存。

2、放射工作场所日常监测

- ①监测频次: 不定期进行日常监测
- ②监测范围: 本次涉及的所有放射工作场所
- ③监测项目: X- γ 辐射剂量率
- ④监测机构: 医院自主检测

利用配备的辐射监测设备对各射线装置工作场所及周围环境进行日常监测，做好辐射的日常监测工作，并将监测数据记录，存档保存。

3、监测仪器配备

医院给所有辐射工作人员配备个人剂量计，并定期（每季度 1 次）送检。配备检定合格的 1 台 X- γ 辐射检测仪用于放射性工作场所的日常监测。

4、竣工环保验收

项目投入运行前，委托有资质的监测单位对本次建设的直线加速器治疗室、后装机治疗室、大孔径 CT 扫描室屏蔽体外表面 30cm 处的 X、 γ 辐射剂量率进行全面的竣工环保验收检测，监测合格后方可投入使用。

综上，榆林市第一医院辐射监测计划见下表。

表 12-4 榆林市第一医院辐射监测计划一览表

监测项目	监测点位	监测频率
X- γ 辐射空气吸收剂量率	后装机房：机房屏蔽墙体表面 30cm 处、防护门表面及缝隙 30cm 处、后装机储源器表面 5cm 及 1m 处、控制室操作位置，机房北侧、西侧、东侧、楼上公众人员停留位置，管线洞口等。	竣工环保验收监测：项目投运前监测 1 次；日常监测：医院不定期进行日常监测。
	加速器机房：机房屏蔽墙体表面 30cm 处、防护门表面及缝隙 30cm 处、控制室操作位置，顶棚上方（楼上）距地面 100cm，机房北侧、南侧、东侧公众人员停留位置，管线洞口等。	
	大孔径 CT 机房：机房屏蔽墙体表面 30cm 处、防护门及缝隙表面 30cm 处、观察窗表面 30cm 处、控制室操作位置，机房北侧、西侧、东侧、楼上公众人员停留位置	
个人剂量计	辐射工作人员佩戴的剂量计	每 3 个月送有资质机构检测 1 次
职业健康检查	所有涉及放射性的工作人员	每年一次

辐射事故应急

根据《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的通知（陕环办发[2018]29号），医院应制定辐射事故应急预案。具体要求见下表。

表 12-5 榆林市第一医院辐射事故应急管理要求

管理内容	管理要求	对照落实情况
*应急管理	结合本单位实际，制定具有可操作性的辐射事故应急预案，定期进行辐射事故应急演练。	医院已编制《榆林市第一医院辐射事故应急预案》，向所在地生态环境行政主管部门备案
	辐射事故应急预案应报所在地县级环境保护行政主管部门备案。应急预案应当包括以下内容：①可能发生的辐射事故及危害程度分析；②应急组织指挥体系和职责分工；③应急人员培训和应急物资准备；④辐射事故应急响应措施；⑤辐射事故报告和处理程序。	

注：表中标注“*”内容为关键项，为强制性规范要求。

根据医院提供的《榆林市第一医院辐射事故应急预案》，医院已设立辐射事故应急领导小组作为应急响应机构，明确了辐射事故应急领导小组、应急现场处置组、现场救护组、后勤保障组、辐射事故应急技术组的成名及相应的职责，规定了辐射事故报告程序以及预防事故的措施、辐射事故的应急响应和应急处理措施等内容。

环评要求：榆林市第一医院应结合本项目放射源和射线装置的应用情况，依据国家相关法律法规、标准，不断对应急预案进行补充修改、完善，使应急预案更具有操作性、可行性。同时加强应急预案演练，提高事故应急处置能力。辐射事故应急预案应报所在地区级环保行政主管部门备案。

综上，榆林市第一医院已成立了辐射事故应急领导小组，明确了相关人员职责；辐射工作人员、辐射管理人员已经取得辐射安全与防护知识培训，各辐射工作场所的防护设施符合辐射防护相关要求，并配备相应的辐射监测仪器和个人防护用品，各项辐射安全规章制度基本健全，辐射事故应急预案基本可行。在落实上述环评要求的前提下，其核技术应用能力方可满足相关法律、法规要求。

项目环保投资及竣工环境保护验收清单

1、环保投资

本项目总投资共计 4600 万元，环保投资 141 万元，环保投资主要为医疗射线装置机房的辐射防护、“三废”污染防治措施、辐射环境监测仪器、个人防护用品配置及人员培训等。环保投资估算表见表 12-6。

表 12-6 项目环保投资估算表

项目		设施（措施）	金额（万元）
榆林市第一医院肿瘤诊疗中心	辐射屏蔽措施	铅防护门 4 套	20.0
		铅玻璃观察窗 1 套	5.0
	安全装置	射线装置和床体上“紧急制动”装置 2 套	3.0
		门灯连锁 3 套、门机连锁装置 2 套	5.0
	监测仪器及警示装置	X- γ 剂量率监测仪 1 台	10.0
		辐射工作人员配备个人剂量计 20 个	10.0
		个人剂量报警仪 3 个	5.0
		警示标牌和工作警示灯 3 套	3.0
	个人防护用品及辅助防护设施	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅衣等共 3 套	30.0
	通排风系统	直线加速器治疗室设置 1 套机械通风装置，后装机治疗室、CT 扫描间设置 1 套机械通风装置	10.0
监测		直线加速器、后装机、大孔径 CT 机房各屏蔽体表面 30cm 处 X- γ 辐射空气吸收剂量率监测费用，后装机贮源器表面剂量当量率监测费用，辐射工作人员个人剂量检测费用。	10.0
应急设备		应急和救助的物资，后装机治疗室内配备 1 套储源容器、长柄镊子等应急设备。	10.0
其他		辐射工作人员、管理人员及应急人员的组织培训	20.0
合计			141

2、竣工环保验收清单

根据《建设项目环境保护管理条例》，工程建设执行污染治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度。在项目竣工后，建设单位应自主进行环保验收工作。竣工环境保护验收清单见表 12-7。

表 12-7 项目竣工环境保护验收清单

序号	验收内容	验收要求	备注
1	环保资料	项目建设的环境影响评价文件、环评批复	齐全
2	辐射安全管理制度	制定操作规程，岗位职责，辐射防护和安全保卫制度，设备检修维护制度，人员培训计划，监测方案，辐射事故应急措施等规章制度。有专人负责，制度上墙，并定期开展辐射事故应急演练。	陕环办发[2018]29 号
3	环保措施	直线加速器： ①防护门上设置永久性辐射警示标志，采用电	陕环办发[2018]29 号、GBZ126-2011、

		动防护门（应急时可手动）。治疗室入口处上方应安装醒目的电离辐射警示标志及照射状态指示灯。治疗室内设置紧急开门按钮。②控制台和直线加速器机房内分别设置紧急停机开关，机房内在迷道入口、机头旁、迷道出口分别设置紧急停机开关；设置门机联锁、门灯联锁、系统联锁、双剂量联锁、次级联锁。 ③机房内建设的穿越防护墙的导线、导管等采用“U”型。机房内设置通风装置，保持机房内空气流通。 ④机房内设置摄像监控 5 个、对讲装置 1 个。 ⑤加速器机房内设置 1 套固定式剂量报警装置，专用钥匙控制。 后装治疗机机房： ①机房的过墙电缆线、管线孔、通风管道等均采用 U 型走向，并在地沟的入口或出口设置有一定厚度的屏蔽盖板，不影响机房的屏蔽能力。机房内设置通风装置，保持机房内空气流通。 ②治疗室和控制室之间安装有监视 2 个、对讲设备 1 个、设置急停开关 3 个。 ③设置门机联锁，在防护门未关闭时，放射源不能出来。迷道内设置紧急停机、开门按钮、紧急回源开关。安装应急开门装置。 ④多重保护和联锁装置，有自动回源装置、手动回源措施，配备辐射监测设备或便携式测量设备，并具有报警功能。在治疗室迷道出、入口处设置固定式辐射剂量监测仪并应有报警功能，其显示单元应设置在控制室内或机房门附近，治疗室应配备有合适的储源容器、长柄镊子等应急设备。 ⑤设置放射源在线监控系统。 大孔径 CT 机房： ①设置相关的辐射防护设施，如机房设置门灯联动装置，室外设置电离辐射警示标志以及工作状态指示灯；室内设置通风装置，保证室内空气流通，制度上墙。 ②室外应设指示灯，警示牌，防止有关人员滞留工作场所受到意外伤害。 ③室内穿越防护墙的导线、导管等采用“U”形布置。		GBZ121-2017、 GBZ130-2013
4	人员要求	持证上岗，四年内进行复训。专职管理人员应参加辐射安全培训。每名工作人员配备个人剂量计。建立个人剂量档案及建立人员健康档案。		环境保护部令第 3 号、第 18 号
5	检测仪器 和个人防护用品	1 台 X-γ剂量率监测仪；个人剂量计 20 个，个人剂量报警仪 3 个；铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等共 3 套。		
5	机房面积	直线加速器：≥45m ² ；后装机：≥20m ² ； 大孔径 CT：≥30m ² ，机房内最小单边长度≥4.5m。		GBZ126-2011、 GBZ121-2017、 GBZ130-2013
6	电离辐射	剂量限	工作人员年有效剂量≤5mSv；	GB18871-2002、 GBZ130-2013

		值	公众成员年有效剂量 $\leq 0.25\text{mSv}$	
		屏蔽体外剂量率控制	直线加速器机房、大孔径 CT 机房、后装机机房外 30cm 处周围剂量当量率 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ 。	GBZ126-2011、 GBZ121-2017、 GBZ130-2013
		后装机贮源器表面剂量当量率	距离贮源器表面 5cm 处的任何位置因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $50\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ； 距离贮源器表面 100cm 处的球面上任一点因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $5\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 。	GBZ121-2017

表 13 结论与建议

结论

(1) 为进一步提高临床诊疗效果,完善医院的诊疗体系,榆林市第一医院拟对榆林院区原住院楼肿瘤诊疗中心负一层、负二层进行改造,在负一层建设一间后装机房、一间 CT 扫描间、控制室、诊室、物理室以及其他辅助用房等,将现有负二层的后装机搬迁至负一层,将负二层后装机房改造成直线加速器机房。新购一台 10MV 直线加速器(属于 II 类射线装置)、搬迁一台后装机(使用 1 枚 ^{192}Ir 密封放射源,活度为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$,属于 III 类放射源)、新购一台大孔径 CT(属于 III 类射线装置)。该项目的建设能为患者提供好的医疗服务,且经评价分析,医院新增射线装置与放射源工作场所屏蔽措施符合相关标准要求,该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)辐射防护要求的“实践的正当性”要求。

(2) 本项目后装机、大孔径 CT 均位于原住院楼肿瘤诊疗中心负一层,直线加速器位于原住院楼肿瘤诊疗中心负二层。由机房辐射防护措施分析可知,各辐射场所与其配套操作间功能布局分区明确,辐射场所设有屏蔽门和工作人员进出门,既方便病人和工作人员进出,又便于辐射防护。从满足安全治疗和辐射安全与防护的角度来看,各辐射工作场所基本上避开了人群较为集中区域,公众居留时间较短,在装置运行时可有效减少受辐射的人群,也有利于科室射线装置管理。总体上看,设备机房布置、选址较为合理。

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)要求,项目拟对辐射工作场所进行分区设置。控制区为各机房(含迷道)内部,以防护门和机房屏蔽墙为界;机房防护门和屏蔽墙外以及楼上相邻区域为监督区。

(3) 医用电子直线加速器环境影响评价结论

①经估算,10MV 直线加速器机房外辐射水平最大为 $1.380\mu\text{Sv/h}$,均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 剂量率控制目标,符合《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)的相关要求。

②10MV 加速器每名辐射工作人员年有效剂量最大为 0.0014mSv/a ,均低于 5mSv 职业工作人员年有效剂量约束限值;公众成员年有效剂量最大为 0.0033mSv/a ,均低于 0.25mSv 公众人员年有效剂量约束限值。

(4) 后装机环境影响评价结论

①拟购的一台后装机使用 1 枚 ^{192}Ir 密封放射源，活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，属于 III 类放射源。

②经估算，后装机机房外辐射水平最大为 $1.78\mu\text{Sv/h}$ ，小于剂量率参考控制水平 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）的相关要求。

③后装机每名辐射工作人员年有效剂量最大为 0.104mSv/a ，低于 5mSv 职业工作人员年有效剂量约束限值。公众成员年有效剂量最大为 0.0445mSv/a ，低于 0.25mSv 公众人员年有效剂量约束限值。

④退役和废旧放射源由供源单位回收，退役和废旧源得到妥善处理，不会对周围环境造成不利影响。

（6）大孔径 CT 环境影响评价结论

本项目大孔径 CT 机房大小、防护能力可以满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）对射线装置机房的屏蔽要求，可以推断本项目大孔径 CT 运行状态下，其机房屏蔽墙体以及防护门外表面 30cm 处辐射剂量率可以满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 限值要求。经估算大孔径 CT 每名辐射工作人员的年受照剂量为 0.015mSv/a ，公众人员的年受照剂量为 0.004mSv/a ，均低于年有效剂量管理目标值 5mSv/a （辐射工作人员）、 0.25mSv/a （公众成员），所致工作人员和公众的年受照最大剂量将低于本评价提出的剂量约束值。

综上分析，本项目运行后，辐射工作人员和周围的公众年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标中对工作人员（ 5mSv ）和公众剂量（ 0.25mSv ）约束值要求。

（7）榆林市第一医院对本项目采取的辐射防护措施和设施，可使其对环境的辐射影响降到合理尽可能低的水平，符合《辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）标准中规定要求和“辐射防护最优化、剂量最小化”原则，项目辐射防护措施适用、可行。

综上所述，本项目的建设能为患者提供好的医疗服务，符合辐射防护实践正当性原则；本项目严格按照国家有关辐射防护规定执行，切实落实辐射防护措施后，能够使其对周边环境的辐射影响降到尽可能合理且低的水平，满足辐射防护最优化原则；项目运行所致职业人员和公众年附加有效剂量满足国家相关标准规定限值要

求，符合剂量限值约束原则；从辐射环境保护角度，在严格落实各项辐射防护措施情况下，该项目对环境的影响是可以接受的。

建议

（1）医院此次项目环评批复后，医院应重新申领辐射安全许可证。严格按照国务院环境保护行政主管部门规定的标准和程序，及时对配套建设的环境保护设施进行自主竣工环保验收，并编制验收报告，验收合格才能正式投入使用。

（2）按照国家有关规定，从事辐射工作的工作人员和专职管理人员需参加辐射安全与防护培训，经考核合格后持证上岗，辐射工作人员应定期进行个人剂量监测和健康体检。

（3）不断完善辐射事故应急预案，加强日常演练，提高应急响应、处置能力，杜绝辐射事故发生。

（4）严格执行辐射环境监测制度，每年应对医院核技术应用的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向辐射安全许可证颁发部门报送上一年度辐射安全年度评估报告。

（5）严格按照《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的通知（陕环办发[2018]29 号）中相关规定进行建设。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见:

经办人:

单位公章

年 月 日

审批意见:

经办人:

单位公章

年 月 日